DIE WISSENSCHAFT
EINZELDARSTELLUNGEN AUS DER NATURWISSENSCHAFT UND DER TECHNIK · BD. 29

HERMANN GUTZMANN

PHYSIOLOGIE DER STIMME UND SPRACHE



FRIEDR. VIEWEG & SOHN AKT.-GES.
BRAUNSCHWEIG





DIE WISSENSCHAFT
Sammlung von Einzeldarstellungen aus den Gebieten der
Naturwissenschaft und der Technik
Herausgegeben von Prof. Dr. EILHARD WIEDEMANN
BAND 29

Prof. Dr. Hermann Gutzmann

Physiologie der Stimme und Sprache

2. Auflage



Braunschweig
Druck und Verlag von Friedr. Vieweg & Sohn Akt.-Ges.
1928

Prof. Dr. Hermann Gutzmann

Physiologie der Stimme und Sprache

In 2. Auflage bearbeitet von

Dr. med. Hermann Gutzmann
Berlin-Zehlendorf

Mit 93 zum Teil farbigen Abbildungen



Braunschweig
Druck und Verlag von Friedr. Vieweg & Sohn Akt.-Ges.
1928



Vorwort zur ersten Auflage.

Das vorliegende Büchlein beansprucht nicht, als eine umfassende Darstellung der Physiologie der Stimme und Sprache angesehen zu werden. Es soll nur dazu dienen, über die Fortschritte der letzten Jahrzehnte auf diesem Gebiete zu orientieren. Gleichwohl konnten bei der Aufgabe, die sich diese Sammlung von Einzelschriften gestellt hat, die altbekannten physiologischen Ergebnisse nicht völlig ausgelassen werden, wenn man nicht den Leser zwingen wollte, fortwährend die Handbücher der Physiologie zur Ergänzung heranzuziehen. Damit hierbei der Umfang nicht allzusehr überschritten wurde, sind die anatomisch-physiologischen Vorbemerkungen, sowie die Ausführungen älterer Tatsachen möglichst kurz gefaßt und in kleinem Druck niedergelegt. Ebenso sind diejenigen Ausführungen, die weniger allgemeines Interesse beanspruchen dürfen, wie Kurvenanalysen u. a. m., klein gedruckt.

Dagegen sind alle diejenigen modernen Forschungen, welche den Physiologen, den Psychologen, den Phonetiker, den Linguisten, den Laryngologen, den Spracharzt, den Taubstummenlehrer, den gebildeten Gesangspädagogen interessieren müssen, ausführlich berichtet.

Ein kurzer Überblick über die Methoden der experimentellen Phonetik durfte nicht fehlen. Allerdings mußte ich es mir versagen, auch nur an einigen Beispielen den Nachweis zu führen, wie gerade die experimentelle Phonetik berufen ist, wissenschaftliche Fortschritte der Linguistik anzubahnen an Stellen, wo man auf bisher unerklärliche Tatsachen stieß. Ein solcher Nachweis wäre nur mit umständlicher Heranziehung von Daten der vergleichenden Sprachforschung zu führen, die hier nicht als bekannt hätten vorausgesetzt werden können.

Ich möchte wohl wünschen, daß auch die noch widerstrebenden Phonetiker, Linguisten und Philologen sich mit dieser neuen Wissenschaft, die ein weites Arbeitsfeld voll ungehobener Schätze vor ihnen ausbreitet, eingehender vertraut machen. Dazu soll dieses Büchlein anregen.

Daß von den Experimentalpsychologen die hier geschilderten Methoden auch für ihre Zwecke benutzt werden, geht schon daraus hervor, daß die Phonetik ihnen manche gute Instrumente und neue Methoden verdankt.

Für den Spracharzt wird die Physiologie der Stimme und Sprache stets der unerschöpflich fließende Born seiner physikalischen Behandlungsmethoden bleiben. Aber auch der Laryngologe wird, so hoffe ich, hier mannigfache Anregung finden. Sind doch zahlreiche Stimmstörungen nicht mit dem Laryngoskop, sondern nur durch Analyse der Bewegungen und der Klänge zu erforschen; hängen doch viele Schwächezustände der Stimme von fehlerhaften Atembewegungen ab, deren Erforschung nur auf dem Wege des physiologischen Experimentes möglich ist!

Der Taubstummenlehrer findet von jeher in der Sprachphysiologie die Grundlage seiner schönen und edlen Kunst, die dem tauben Kinde den Verkehr mit den hörenden Mitmenschen eröffnet, die den Taubstummen entstummt und ihn davor bewahrt, extrasozial zu bleiben oder zu werden.

Endlich kann sich auch die moderne Gesangspädagogik nicht mehr der Forschung nach den physiologischen Tatsachen des Kunstgesanges verschließen, eine Forschung, deren Mittel und Wege hier angezeigt sind, und deren bisherige Ergebnisse uns zu der Hoffnung berechtigen, daß die noch völlig schwankenden Regeln des Kunstgesanges eine festere Grundlage erhalten werden.

Ob meine Absicht erreicht ist, das Interesse aller der genannten Berufsarten für dies Büchlein zu erwecken, ob meine Hoffnung, daß sie in ihm die Anregung finden werden, die sie hier suchen, sich erfüllen wird, das muß die Zukunft lehren.

Zehlendorf-Berlin, im Dezember 1908.

Der Verfasser.

Vorwort zur zweiten Auflage.

Nach 19 Jahren erscheint das vorliegende Buch nunmehr in der zweiten Auflage. Die im Vorwort zur ersten Auflage gekennzeichneten Absichten sind dieselben geblieben. Ich habe mich bemüht, an der von meinem Vater glücklich gefundenen klassischen Form nichts zu ändern und trotzdem die neuesten Ergebnisse zu bringen. Um das Buch nicht allzu umfangreich werden zu lassen, mußten deshalb einige Abschnitte, wie z. B. eine rechnerisch dargestellte Vokalanalyse u. a., fortfallen, da sie nicht allgemein interessieren. Ebenso wurden längere Abschnitte, die 1908/09 die neuesten Ansichten wiedergaben, heute nach 19 Jahren als veraltet im Kleindruck wiedergegeben. Die größten Schwierigkeiten ergaben sich, als festgestellt werden mußte, daß die Fachliteratur geradezu lawinenartig angeschwollen war und während der Bearbeitung weiter beinahe im Quadrat der Entfernung wuchs. Deshalb ist nur das wirklich Wesentliche berücksichtigt worden. Um so umfangreicher ist das Literaturverzeichnis, das möglichst vollständig aufgestellt wurde.

Bei der Bearbeitung wurde ich in liebenswürdigster Weise durch Rat und Tat von einer Reihe von Freunden und Schülern meines Vaters unterstützt. Besonderen Dank, dem ich hiermit meinen herzlichsten Ausdruck gebe, schulde ich Herrn Geh. Rat Stumpf, der mir seine „Sprachlaute“ schon vor ihrem Erscheinen für die vorliegende Arbeit zur Verfügung stellte. Weiter danke ich hiermit für ihre Unterstützung den Herren Prof. Nadoleczny und Kurt Huber in München, Hegener und Panconcelli-Calzia in Hamburg, K. L. Schaefer und Herrn Wethlo in Berlin, sowie den Herren Prof. Zwaardemaker in Utrecht und Dr. Struycken in Breda (Holland).

Berlin-Zehlendorf, im Dezember 1927.

Der Verfasser.



Inhaltsverzeichnis.

I. Physiologie der Atmung und Stimme.

II. Physiologie der Sprachlaute.

I. Physiologie der Atmung und Stimme.

A. Anatomische Vorbemerkungen.

1. Atmung.

Das Verständnis für den Vorgang der Atmungsbewegungen beim Sprechen setzt einige anatomische Vorkenntnisse voraus. Es sind zwei Bewegungen, durch welche der Brusthohlraum in seiner Größe verändert werden kann, so daß die ihm luftdicht eingefügte Lunge diesen Raumveränderungen folgt und damit das Einströmen bzw. Ausströmen der Luft durch die Bronchien in die Lungenalveolen bzw. aus ihnen bewirkt. Die Lunge ist schon in der Ruhestellung in Spannung, da der auf der Innenfläche der Alveolen ruhende Luftdruck gleich dem Atmosphärendruck ist, während der Druck in dem zwischen Lungenoberfläche und innerer Brustwandung vorhandenen spaltförmigen Raume wesentlich kleiner ist, nach vielfachen Messungen von Donders, Hutchinson (an der Leiche), Aron, Einthoven und van den Burgh (beim Lebenden) etwa $4^1/_2$ bis 6 mm Quecksilber.

Die Erweiterung des Brustkorbes und damit die Einatmung erfolgt in erster Linie durch das Zwerchfell (Diaphragma), einen kuppelförmigen, Brust- und Bauchhöhle voneinander trennenden Muskel, dessen Randteile der inneren Brustwand bei der Ausatmung eng anliegen (s. Abb. 1). Bei der Einatmung flacht sich die Kuppe ab, und das Zwerchfell rückt nach unten, indem der spaltförmige Raum sich zu einem im Querschnitt keilförmigen Raume erweitert, den die Lunge sogleich ausfüllt. Die Abb. 2 zeigen in *a* die Ausatmungs-, in *b* die Einatmungsstellung des Zwerchfells[1]). Auch auf dem Röntgenschirm läßt sich die Zwerchfellbewegung durch Beobachtung des Leberschattens leicht verfolgen.

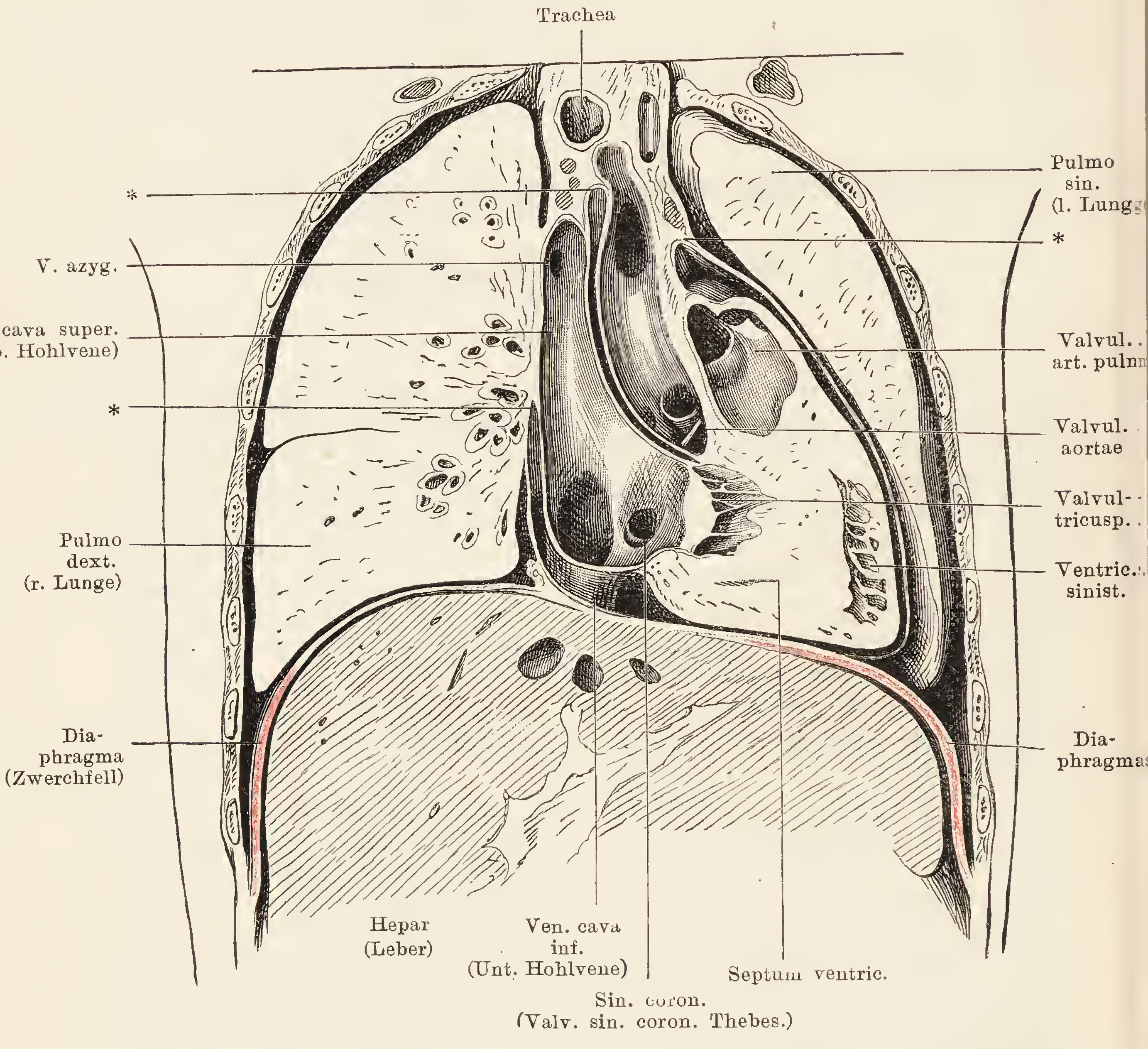
Diese Zwerchfellbewegung wird auf die vorderen weichen Bauchdecken übertragen, die natürlich dem Drucke nachgeben müssen. Sie heben sich also bei der Einatmungsbewegung und senken sich bei der Ausatmung, beides, wenigstens in der Ruheatmung, völlig passiv. (Über die Schreibung der Atembewegungen s. S. 16.)

---

[1]) Näheres in Boruttau, Die Atembewegungen und ihre Innervation, in Nagels Handbuch der Physiologie I (1), 1 ff. und im Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie von Bethe u. a. (Springer), 1926.

Die Erweiterung des Brustkorbes geschieht ferner durch die Rippenbewegung. Betrachtet man den Brustkorb von der Seite, so sieht man die oberen Rippen so verlaufen, daß die beiderseitigen Rippen jederseits

Abb. 1 (nach Henle-Merkel).

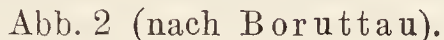


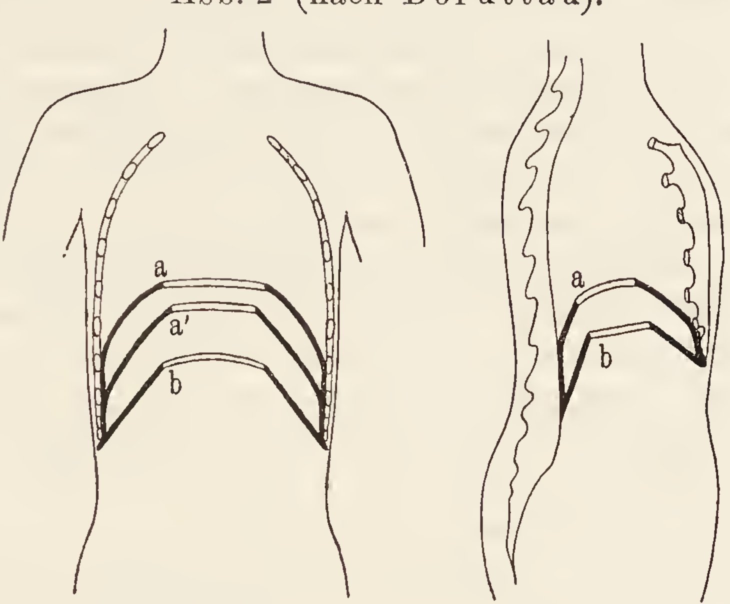
Frontalschnitt der Brust. Durchschnitt des Zwerchfells und Lage der Brusteingeweide.

*, *, * Umbiegungsstellen des Pericardium parietale in das Pericardium viscerale.

einen Halbring bilden. Ihre Bewegung findet so statt, daß der ganze Ring um eine durch die Wirbelsäule von links nach rechts gehende Achse sich zu drehen scheint. In Wirklichkeit geschieht die Drehung um die in der Abb. 3 bei *a* durch die punktierten Linien angedeuteten Achsen. Die unteren Rippen verlaufen zunächst stark nach abwärts gerichtet, um dann oben umzubiegen und sich an das Brustbein zu heften. Hier liegt die Drehungsachse jeder Rippe in der Richtung von vorn nach hinten, wie es

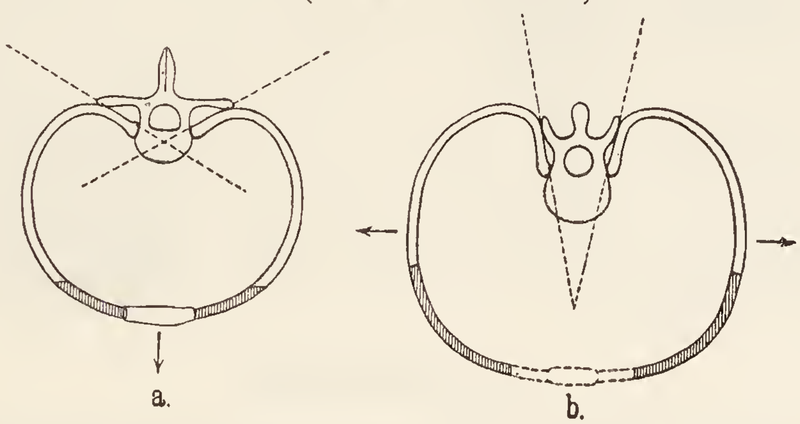
Abb. 3 b zeigt. Durch die Bewegung der oberen Rippen wird demnach das Brustbein nach vorn gehoben, durch die der unteren wird der Brustkorb seitlich erweitert.


Abb. 2 (nach Boruttau).



Die Ausatmung erfolgt bei der Zwerchfellatmung durch Nachlassen der Zwerchfellzusammenziehung und Druckausgleichung der Bauchdecken. Bei verstärkter Atmung werden die Bauchmuskeln zusammengezogen und drücken nun ihrerseits das Zwerchfell nach oben. Die Ein- und Aus-

Abb. 3 (nach Boruttau).



atmungsbewegungen der Rippen werden durch die Zwischenrippenmuskeln bewirkt, über deren Aufgabe im einzelnen auch heute noch keine Übereinstimmung herrscht[1]).

Gewöhnlich werden beide Bewegungen, Brust- und Bauchatmung, gleichzeitig, wenn auch in verschiedenem Grade, benutzt: Atmungstypen; doch können sie durch Übung voneinander unabhängig gemacht werden. Sewall und Pollard behaupten, daß tiefe Töne stärker und reiner hervorgebracht werden können, wenn ausschließlich die Brustatmung verwandt wird, höhere Töne, wenn die Bauchatmung bevorzugt wird[2]).

---

[1]) Vgl. besonders R. du Bois-Reymond, Ergebnisse der Physiologie I (II), 387ff.; ferner Mollier, Verhandl. d. Gesellsch. f. Morphologie u. Physiologie in München, 1926 (Die vordere Bauchwand).

[2]) H. Sewall und E. M. Pollard, On the relations of diaphragmatic and costal respiration. Journ. of Physiol. **11**, 159, 1890, zitiert nach R. du Bois-Reymond.

Schilling hat mit seinem Diaphragmographen festgestellt, daß Bauchdeckenbewegung nicht gleichbedeutend ist mit Zwerchfellbewegung, was Nadoleczny schon 1912 behauptet hat. Bei Beginn der Einatmung zeigte sich im allgemeinen deutlicher Synchronismus aller Atembewegungen. Bei Beginn der Ausatmung dagegen, besonders bei der Sprech- und Singatmung, fand sich ein ausgesprochener Asynchronismus. Obwohl die Bauchdeckenbewegung der Brustkorbbewegung vorauslief, blieb das Zwerchfell noch längere oder kürzere Zeit im Zustand tiefster Einatmung stehen. Dieser physiologische Asynchronismus ist nach Nadoleczny bei geschulten Sängern stärker ausgesprochen und zeigt sich besonders beim Staccato und bei den sogenannten gestützten Tönen. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, daß die Singatmung einen Atemtypus darstellt, der erst durch bewußtes Einüben erworben wird, und zwar nur für Zwecke des Gesanges.

Nach Nadoleczny lassen sich drei Singatemtypen unterscheiden, nämlich: 1. Die kosto-abdominale Tiefatmung beim Ein- und Ausatmen, 2. die mehr kostale Atmungsart und 3. jene Atmungsform, die bei aufsteigenden Tonfolgen mehr abdominal, bei absteigenden mehr kostal atmet. (Typus Sewall und Pollard.) Diese Atemtypen sind aber nur in dem Sinne aufzufassen, daß ein Muskelgebiet überwiegt. Es ist selbstverständlich, daß die anderen dabei nicht stillstehen, daß also ein ausschließlicher sogenannter „ungemischter Atemtypus“ nicht vorkommt. Körperbau und Körperhaltung beeinflussen nach Barth ebenfalls den Atemtypus.

Die Innervation des Zwerchfells geschieht durch den N. phrenicus, die der Intercostalmuskeln durch die Nn. intercostales. Jedoch darf nicht übersehen werden, daß von den untersten Intercostalnerven Ästchen auf den Rand des Zwerchfells übergreifen, so daß es verständlich ist, daß die Bewegungen der unteren Rippen mit denen des Zwerchfells stets harmonisch vonstatten gehen: Beim sogenannten Flankenatmen kommt ganz ohne besonderes Zutun eine starke Mitbewegung des Zwerchfells zustande. Das ist also die vollkommenste Tiefatmung für deklamatorisches Sprechen und Gesang.

2. Stimmorgan.

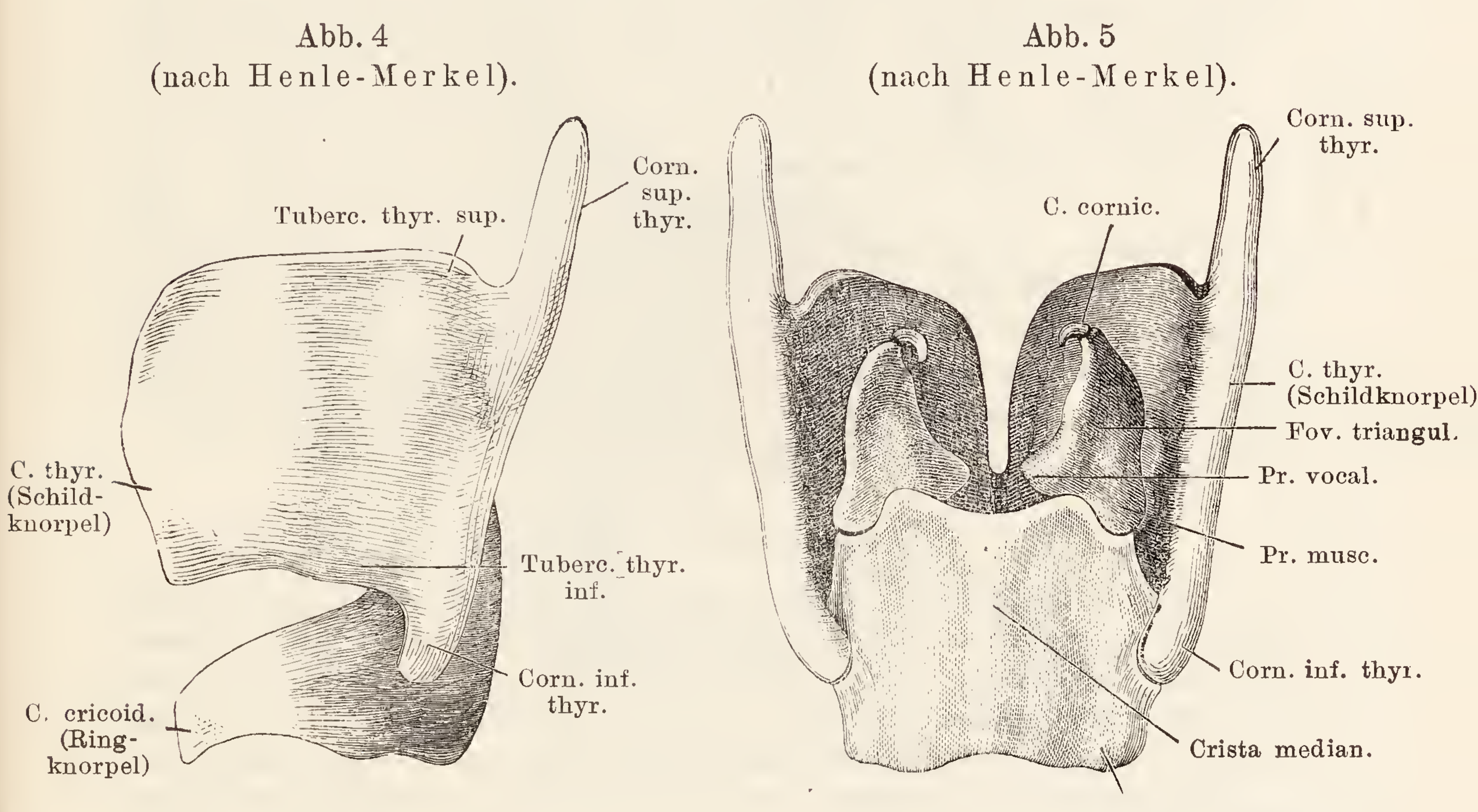
Während die anatomische und funktionelle Vorrichtung des Atmungsorgans noch verhältnismäßig leicht verständlich ist, sind die Schwierigkeiten, zu einer richtigen Vorstellung des Stimmorgans ohne anatomische Anschauung und ohne physiologische Versuche zu gelangen, außerordentlich erhöht. Da die Kenntnis von dem Bau und der Funktion des Stimmorgans für das Verständnis des Folgenden unumgänglich nötig ist, so wollen wir es hier versuchen, unter Beifügung deutlicher Bilder die Anatomie und die Muskelfunktionen im Kehlkopf kurz darzustellen.

a) Knorpelige Grundteile.

Auf den obersten der hufeisenförmigen Knorpelhalbringe der Luftröhre folgt ein vollständig geschlossener starker, knorpeliger Ring, dessen schmalste Stelle vorn liegt, während seine Höhe nach hinten hin immer mehr zunimmt (siehe Abb. 4 und 5), so daß er im ganzen ungefähr die Form eines großen Siegelringes hat, dessen Schild nach hinten gerichtet ist. An dieser

Platte des ringförmigen Knorpels (Cartilago cricoidea) oder, wie er nach seiner Aufgabe, den gesamten Kehlkopf zu tragen, heißt, des Grundknorpels, befinden sich vier Gelenkflächen, und zwar zwei auf jeder Seite. Die am meisten nach oben gelegenen Gelenkflächen dienen zur Anlagerung der Gießbeckenknorpel (Cartilagines arytaenoideae), die unteren Gelenkflächen zur Anlagerung an den Schildknorpel (Cartilago thyreoidea). Die Gießbeckenknorpel stellen im wesentlichen kleine dreiseitige Pyramiden dar, und man kann sie infolgedessen nach ihrer Gestalt wohl Pyramidenknorpelchen nennen. Von den unteren drei Ecken haben zwei eine kleine Verlängerung, und zwar die hintere äußere Ecke und die innere vordere Ecke. An der hinteren äußeren Ecke setzen

Abb. 4 (nach Henle-Merkel). Abb. 5 (nach Henle-Merkel).



Kehlkopfknorpel von der Seite. Kehlkopfknorpel von hinten.

gewisse Muskeln an, während an der vorderen Ecke die hinteren Enden der Stimmlippen, früher Stimmbänder genannt, befestigt sind. Nach diesem Zweck heißt der erstgenannte Fortsatz Processus muscularis, der zweitgenannte Processus vocalis. Die vorderen Enden der Stimmlippen stoßen aneinander an der hinteren Fläche des sogenannten Schildknorpels, den wir, wenn wir außen am Vorderhals tastend entlang gleiten, beim männlichen Geschlecht in Form des „Adamsapfels" vorfinden. Der Schildknorpel hat eine eigentümliche schildartige Form, der obere Rand ist dreieckig ausgebuchtet und endet nach außen hin jederseits in ein langes, schräg nach oben gerichtetes Horn. Der untere Rand geht mit leichter Biegung nach hinten und endet jederseits in ein nach unten gerichtetes Horn. Dieses nach unten gerichtete Horn lagert sich jederseits an die zweite vorhin schon genannte Gelenkfläche des Ringknorpels an. Biegt man nun den Schildknorpel um seine von rechts nach links gehende

Achse nach unten herunter, so ist es klar, daß er bei feststehenden Gießbeckenknorpeln die Stimmlippen anspannen muß. Dies geschieht durch die Mm. crico-thyreoidei. Man hat ihn deswegen nach seiner Aufgabe auch Spannknorpel genannt[1]). Da die Gießbeckenknorpel durch ihre vielfachen Muskelansätze in die verschiedenartigsten Stellungen gebracht werden können, und demnach auch die Gegend zwischen den beiden Stimmlippen die verschiedenartigsten Formen annehmen kann, so nennt man diese beiden Knorpel nach ihrer Aufgabe Stellknorpel. Man merke demnach bei jedem der geschilderten Kehlkopfknorpel die beiden Namen, einen nach der Form, den zweiten Namen nach der Aufgabe der Knorpel: Ringknorpel oder Grundknorpel, Gießbeckenknorpel (besser Pyramidenknorpelchen) oder Stellknorpel und Schildknorpel oder Spannknorpel. Oberhalb der Stelle, wo die Stimmlippen mit ihren vorderen Enden an der hinteren Seite des Schildknorpels sich ansetzen, legt sich der Stiel des löffelartig gestalteten Kehldeckelknorpels an. Zwischen dem oberen Rande des Schildknorpels und dem senkrecht darüber gelegenen hufeisenartig geformten Zungenbein ist eine bandartige Verbindung vorhanden, die Zungenbeinschildknorpelband oder Ligamentum thyreo-hyoideum genannt wird.

Abb. 6.

b) Muskeln des Kehlkopfes.

Wir übergehen die äußeren Muskeln des Kehlkopfes, die an dem Halse vorn vor dem Kehlkopf liegen, mit Ausnahme des schon erwähnten M. crico-thyreoideus. Sie dienen im wesentlichen zur Auf- und Niederbewegung des Organs im Ganzen und zur Fixation in seiner jeweiligen Lage. Besonders den unteren Zungenbeinmuskeln kommt diese Aufgabe zu. — Wir wollen hier diejenigen Muskeln beschreiben, die ganz besonders auf die verschiedenartige Gestaltung der Stimmritze einwirken müssen, das sind:

1. Die Stimmuskeln (M. thyreo-arytaenoidei oder vocales), welche jederseits in der Stimmlippe liegen, demnach also von der hinteren Fläche des Schildknorpels entspringen und an die Processus vocales der Gießbeckenknorpel ansetzen.

2. Zwei Muskelpaare, welche jederseits ausgehen von dem Processus muscularis der Gießbeckenknorpel. Das eine Paar der Muskeln geht nach vorn schräg nach unten an die Seite des Ringknorpels, das andere zieht vom Processus muscularis aus schräg nach hinten unten und setzt sich an die hintere Fläche des Ringknorpels an: Musculi crico-arytaenoidei laterales oder antici und Musculi crico-arytaenoidei postici.

---

[1]) Neuerdings nimmt man an, daß der Schildknorpel feststehe und der Ringknorpel bei der Spannung der Stimmlippen gegen ihn bewegt werde. Für die erreichte Wirkung ist das natürlich gleich, nur würde man dann den Schildknorpel als Grund-, den Ringknorpel als Spannknorpel bezeichnen müssen.

3. Endlich ziehen zwischen den beiden Gießbeckenknorpeln und ihren hinteren Flächen der Musculus arytaenoideus transversus und die beiden Musculi arytaenoidei obliqui oder M. thyreo-arytaenoidei obliqui. So lang alle diese Muskelnamen auch sind, so haben sie doch das Gute, daß in dem Namen des Muskels immer gleich die beiden Ansatzpunkte desselben enthalten sind. Man vergleiche hierzu die Abbildungen der Muskeln in Abb. 7 bis 10. Ihre Tätigkeit werden wir uns am besten an rein schematischen Figuren klarmachen. Wenn in der beigegebenen Abb. 11 der punktierte Kreis den Ringknorpel darstellt und die stumpf-

Abb. 7 (nach Henle-Merkel).

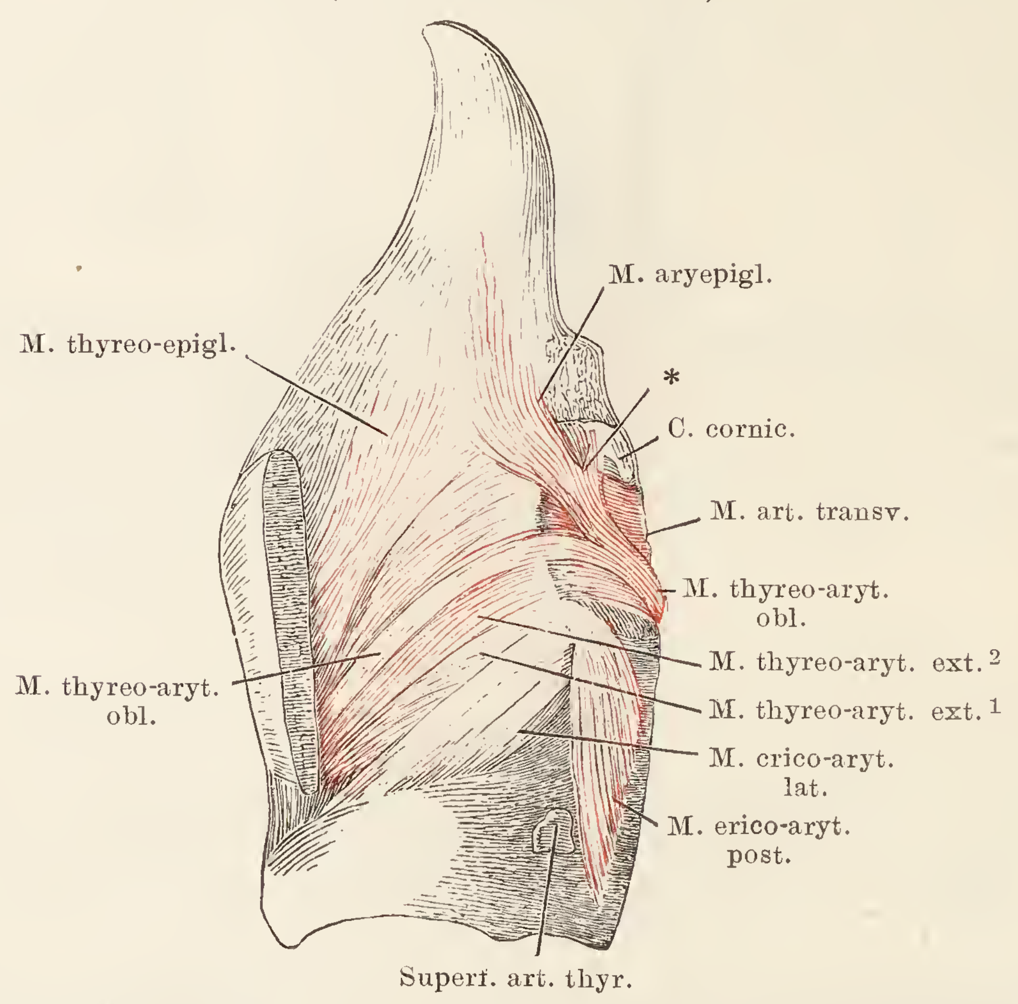
Innere Kehlkopfmuskulatur, linke Hälfte.
* Innerer Winkel der Cart. arytaenoidea (Gießbeckenknorpel). ** Hinterer Winkel des Ventriculus laryngis.

winklig geknickte Bogenlinie BAB' den Schildknorpel, so ist das Dreieck $Pm\,Pv\,D$ die Darstellung der Grundfläche der Gießbeckenknorpel. Von der vorderen Ecke Pv (= Processus vocalis) ziehen die Stimmlippen nach dem Punkt A des Schildknorpels. Von dem Punkt Pm (= Processus muscularis) ziehen seitlich jederseits die Musculi crico-arytaenoidei laterales. In der Abbildung sind sie durch einen Pfeil angedeutet. Nehmen wir an, daß die hintere innere Ecke der Gießbeckenknorpel unbeweglich ist, so werden bei der Wirkung dieser Muskeln die Gießbeckenknorpel um den Punkt D (= Drehpunkt) so gedreht werden, daß die vorderen Ecken zusammenstoßen, es wird also auf diese Weise eine Art Hebelwirkung ausgeübt, und es ist klar, daß die inneren Flächen der beiden Stimmlippen sich nähern müssen, und daß nur zwischen den beiden Drehpunkten und den vorderen Spitzen der Pyramidenknorpel ein kleines Dreieck $DPv'D'$ offen bleibt.

Die Wirksamkeit des in der Stimmlippe selbst gelegenen Stimmuskels (Musculus vocalis oder Musculus thyreo-arytaenoideus) wird im wesentlichen

doch nur die sein, daß er die beiden Gießbeckenknorpel nach vorn zu ziehen sucht. Wenn wir annehmen, daß der vordere Ansatzpunkt dieses Muskels links und rechts von A zu suchen ist, und daß der Muskel parallel der Linie $A\,Pv$ jederseits verläuft, so ist es klar, daß er bei seiner Zusammenziehung im wesentlichen nicht anders die Stimmlippen in ihrer gegenseitigen Lage festhalten kann, als in dem länglichen Dreieck $D\,A\,D'$. Nur dadurch, daß er auch noch an der vorderen Seite der Grundfläche der Pyramidenknorpelchen ansetzt, vermag er den Processus vocalis ein klein wenig nach innen zu bewegen, so daß an dieser Stelle ein leichter Knick

Abb. 8 (nach Henle-Merkel).



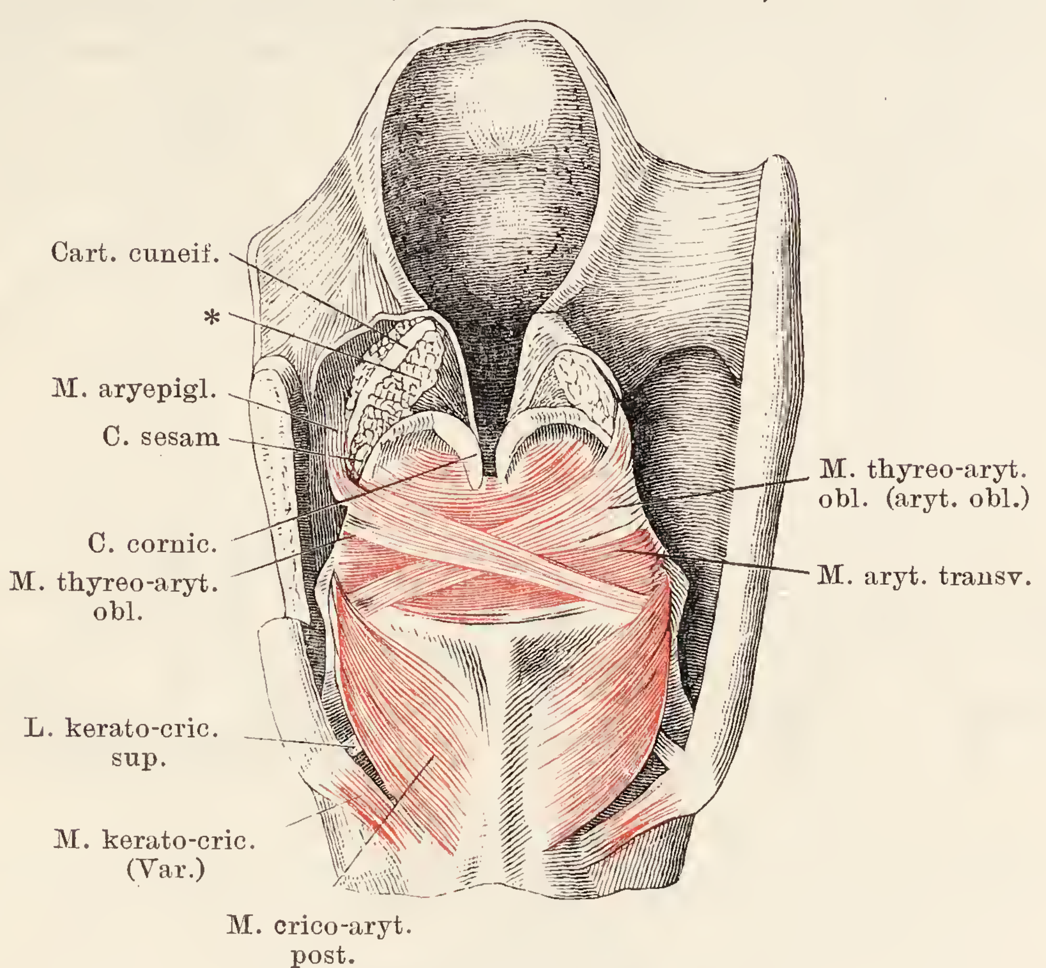
Innere Kehlkopfmuskulatur, von links gesehen. Die linke Schildknorpelplatte ist entfernt.

* Abzweigung des M. aryepiglottic. vom M. aryt. obliquus.

in der sonst geraden Linie $D\,Pv\,A$ entstehen würde. Niemals aber ist dieser Muskel allein etwa imstande, die beiden Processus musculares zur Berührung zu bringen. In der Tat ist auch nicht die Stellung der Stimmlippen oder die Stellung der Aryknorpel seine wesentliche Aufgabe, sondern seine ganze Lage in der Substanz der Stimmlippe deutet schon darauf hin, daß er durch seine Zusammenziehung, durch die ja jeder Muskel dicker wird, die Form und die Elastizität der Stimmlippen, wie sie zum Tönen und besonders zur Erzeugung der Bruststimme nötig ist, erst schaffen kann. Gelegentlich hat man in den Stimmlippen Erwachsener auch noch schräge und quer verlaufende Muskelfaserzüge (M. aryvocalis) gefunden, aber durchaus nicht immer und anscheinend nie bei Kindern.

Abb. 12 zeigt in ähnlicher Weise die Wirksamkeit der Musculi crico-arytaenoidei postici. Wie man sieht, wird durch die Zusammenziehung

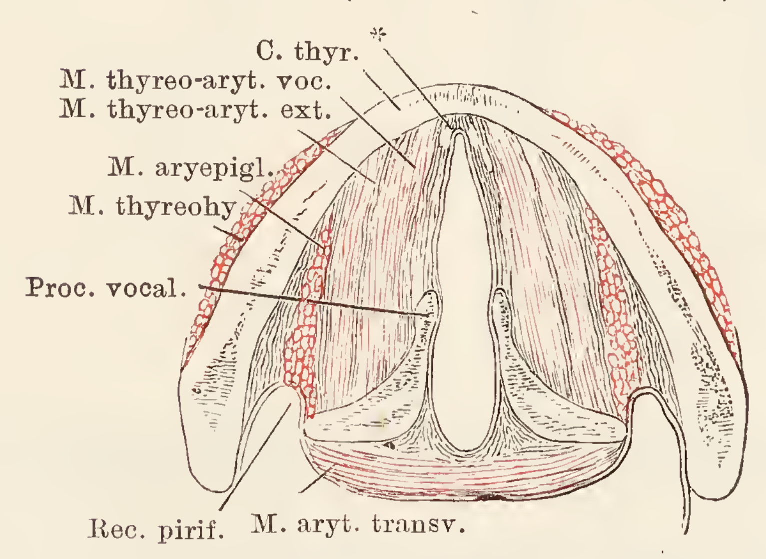
Abb. 9 (nach Henle-Merkel).



Kehlkopfmuskulatur von hinten.

* Schleimdrüsen.

Abb. 10 (nach Henle-Merkel).



Horizontalschnitt durch die Stimmlippen.

* Elastisches Knötchen (Macula flava) am vorderen Ende des Stimmbandes.

dieser Muskeln aus dem länglichen Dreieck ein Fünfeck, vorausgesetzt natürlich, daß die beiden Punkte D und D' unverändert bleiben. Endlich zeigt die nächste Abbildung (Abb. 13) die Wirksamkeit der zwischen den beiden

Gießbeckenknorpeln ausgespannten Gießbeckenknorpelmuskeln. Sie führen bei ihrer Zusammenziehung die beiden Knorpelchen aneinander und schließen so erst in der Tat die Innenflächen der Knorpelchen, so daß die Stimmritze zum Tönen verengt ist. Nur bei wirklicher Aneinanderlagerung dieser Knorpel kann eine volle normale Bruststimme ertönen. Fehlt die

Abb. 11. Abb. 13.

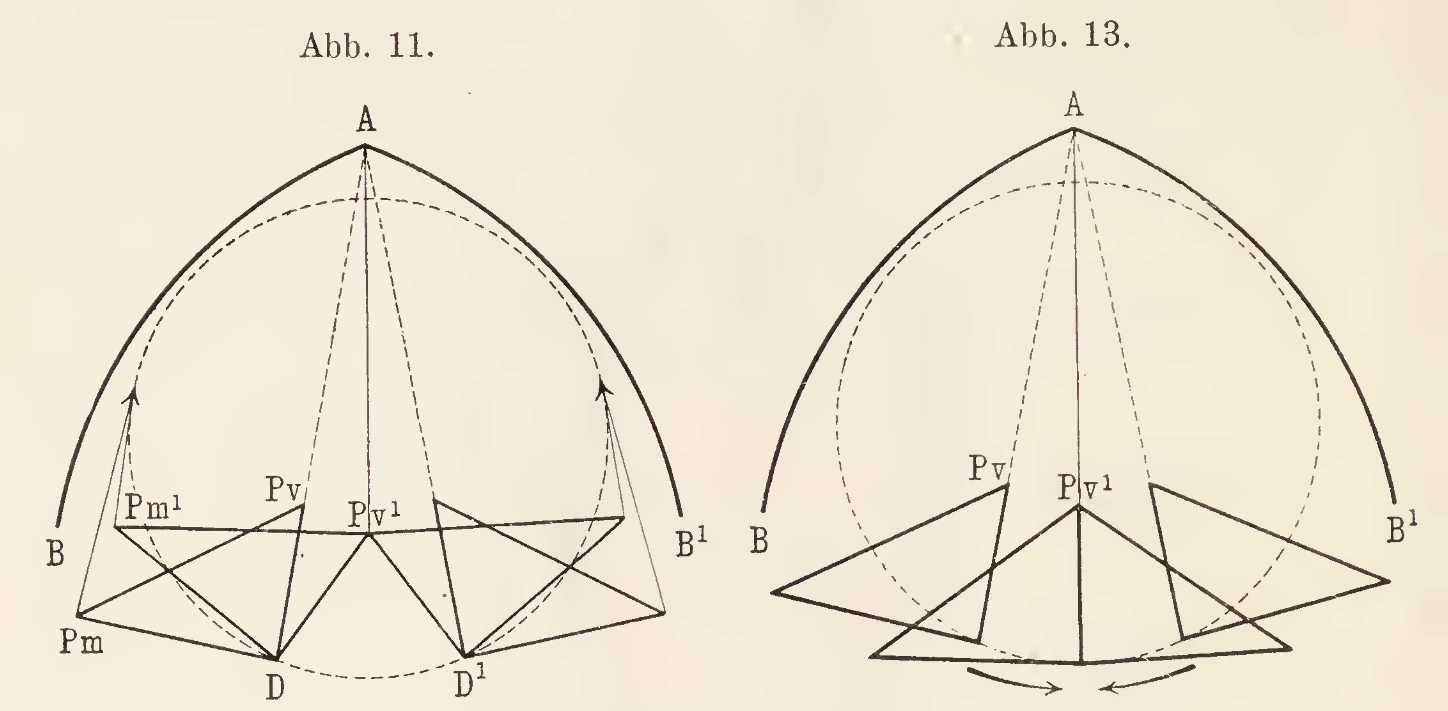
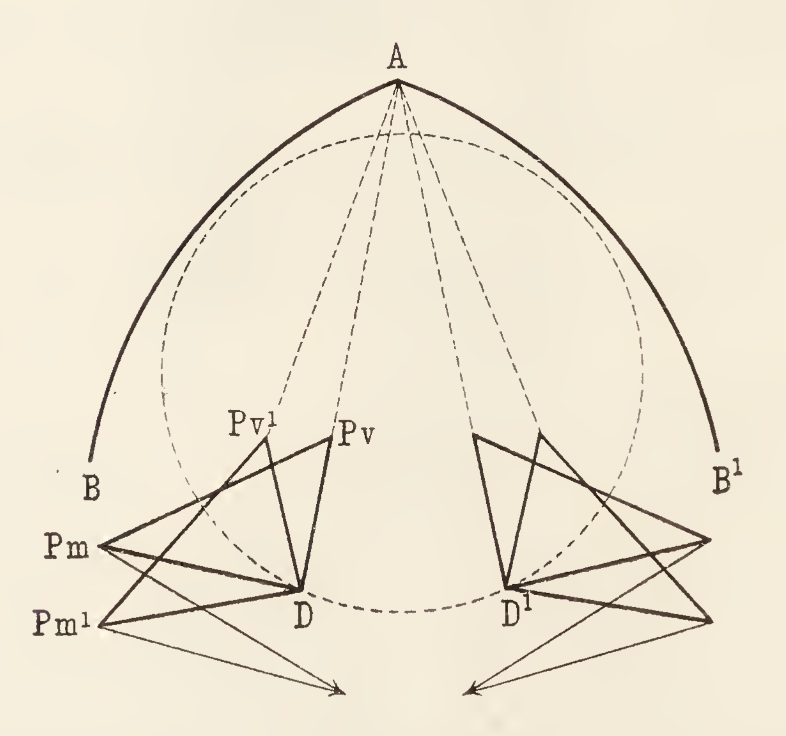


Abb. 12.



Wirksamkeit dieser Muskeln, so bleiben die Gießbeckenknorpel voneinander entfernt, und die Stimme klingt heiser und rauh oder sinkt sogar zum Flüstern herab.

Die Muskulatur des Kehlkopfeinganges zeigt, wie die anatomischen Abbildungen lehren, eine ringförmige Anordnung, wie alle Schnürmuskeln (Sphincteren). Man vergleiche z. B. den Ringmuskel des Mundes damit.

Es mag noch bemerkt sein, daß die Funktionen der einzelnen oben besprochenen Kehlkopfmuskeln in Wirklichkeit nicht so einfach sich darstellen. Es würde aber nur verwirren, wenn man an dieser Stelle die

noch unbeantworteten Fragen der Muskelphysiologie des Kehlkopfes dar stellen wollte. Auch Nadoleczny steht neuerdings auf dem Standpunkt, sie als funktionelle Einheit aufzufassen.

Die Innervation des Kehlkopfes (s. Abb. 14 und 15) erfolgt durch den N. laryngeus superior und den N. laryngeus inferior oder recurrens (rückläufiger Nerv). Letzterer ist der hauptsächlichste motorische Nerv. Der N. laryngeus superior ist der motorische Nerv für den Musculus cricothyreoideus, sonst ist er der sensible Nerv für den ganzen Kehlkopf.

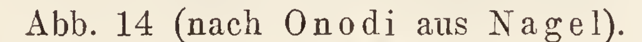
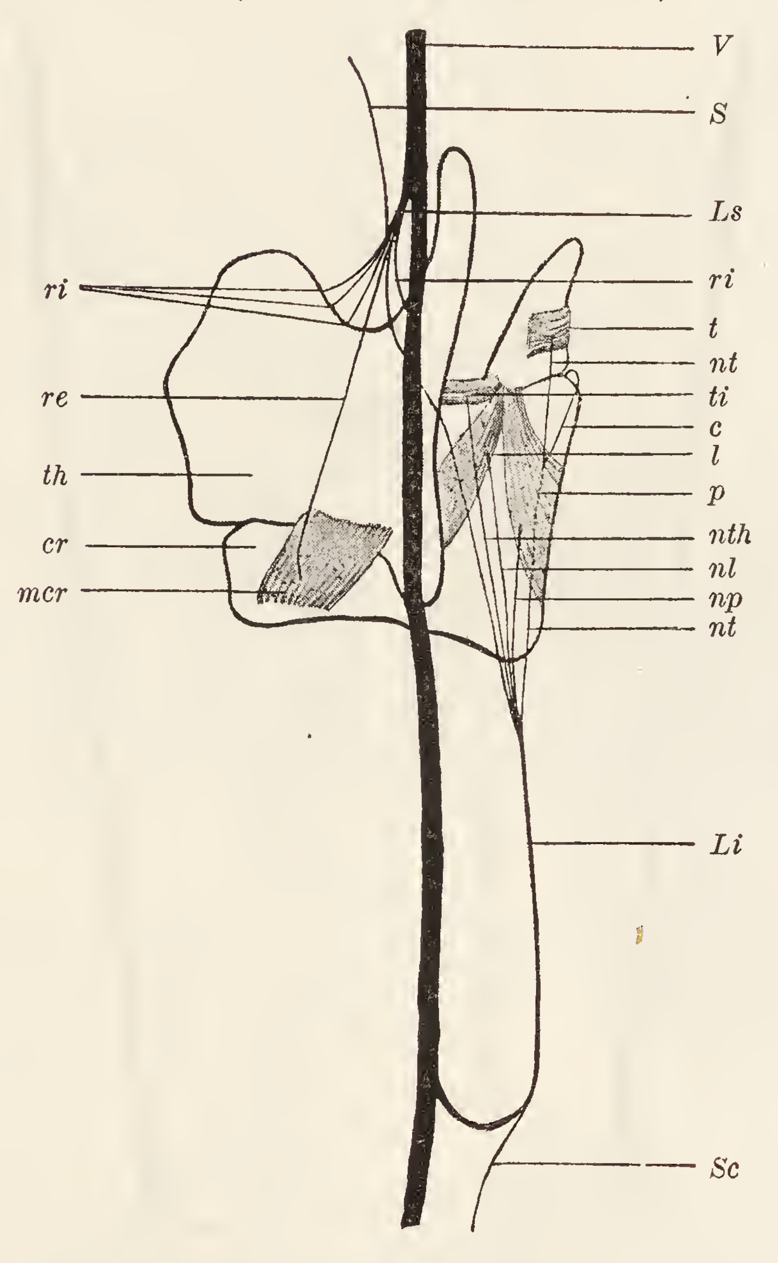


Abb. 14 (nach Onodi aus Nagel).



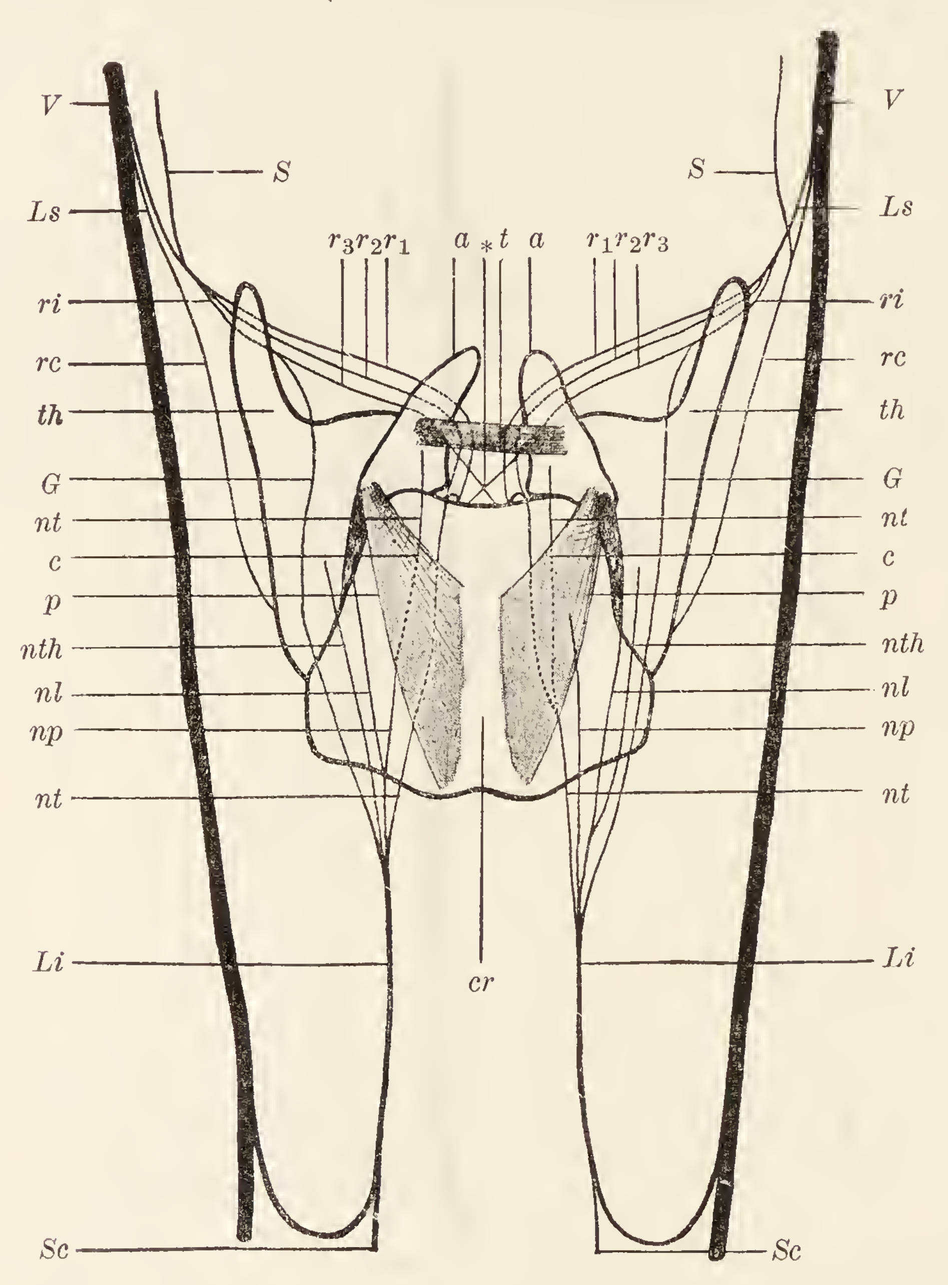
Verlauf und Anordnung der motorischen und sensiblen Nerven des menschlichen Kehlkopfes von der Seite.

V Vagus. *Ls* oberer Kehlkopfnerv. *ri* der innere Zweig des oberen Kehlkopfnerven. *re* der äußere Zweig des oberen Kehlkopfnerven. *S* Verbindung mit dem sympathischen Nervensystem. $r_1\, r_2\, r_3$ Schleimhautzweige des oberen Kehlkopfnerven. *th* Schildknorpel. *cr* Ringknorpel. *l* Musculus cricoarytaenoideus lateralis. *p* Musculus cricoarytaenoideus posticus. *t* Musculus arytaenoideus transversus. *Li* unterer Kehlkopfnerv. *nt* Nerv des Musculus arytaenoideus transversus. *c* Verbindungszweig. *np* Nerv des Musculus cricoarytaenoideus posticus. *nl* Nerv des Musculus cricoarytaenoideus lateralis. *nth* Nerv des Musculus thyreoarytaenoideus. *Sc* Verbindung mit dem Sympathicus und mit den Herznerven. *ti* Musculus thyreoarytaenoideus. *mcr* Musculus cricothyreoideus.

Zerstörung des Recurrens macht Stillstand der gleichseitigen Stimmlippe, Zerstörung des N. laryngeus superior Aufhebung der Kehlkopfreflexe und Rauhigkeit der Stimme durch Lähmung des Stimmlippenspanners, des M. crico-thyreoideus.

Die zentrale Innervation erfolgt vom Krauseschen Zentrum aus. Die Literatur hierüber ist fast unübersehbar. Sie knüpft sich an die Namen Sémon, Horsley, Mott, Onodi, Klemperer, Grabower, Grossmann, Bechterew, Katzenstein, Russel, Broeckaert u. a. m. Auch

Abb. 15 (nach Onodi aus Nagel).



Verlauf und Anordnung der motorischen und sensiblen Nerven des menschlichen Kehlkopfes von hinten.

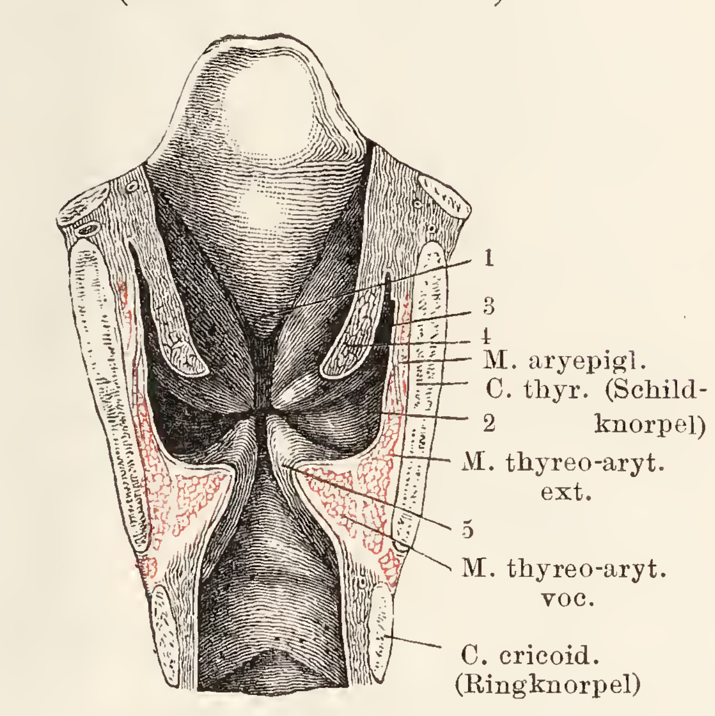
V Vagus. *Ls* oberer Kehlkopfnerv. *ri* der innere Zweig des oberen Kehlkopfnerven. *re* der äußere Zweig des oberen Kehlkopfnerven. *S* Verbindung mit dem sympathischen Nervensystem. $r_1\, r_2\, r_3$ Schleimhautzweige des oberen Kehlkopfnerven. *G* Galenische Schlinge. * Kreuzung der sensiblen Fasern. *th* Schildknorpel. *a* Gießkannenknorpel. *cr* Ringknorpel. *p* Musculus cricoarytaenoideus posticus. *t* Musculus arytaenoideus transversus. *Li* unterer Kehlkopfnerv. *nt* Nerv des Musculus arytaenoideus transversus. *c* Verbindungszweig. *np* Nerv des Musculus cricoarytaenoideus posticus. *nl* Nerv des Musculus cricoarytaenoideus lateralis. *nth* Nerv des Musculus thyreoarytaenoideus. *Sc* Verbindung mit dem Sympathicus und mit den Herznerven.

die periphere Innervation ist immer noch Gegenstand der Diskussion. Die Gesamtfunktion der Kehlkopfmuskulatur beruht nicht so sehr auf dem einen oder anderen Muskel oder Nerven, sondern wir haben hier ein schönes Beispiel von Synergismus. Die Summe der zahlreichen verschiedenen Bewegungen im Muskelring des Kehlkopfes ergibt insgesamt die für eine bestimmte Funktion, für einen bestimmten Ton notwendige Einstellung des Stimmapparates. Der Luftstrom läßt dann den gewollten Ton erklingen. Muskelsinn und Gehör korrigieren während der Tongebung laufend die Einstellung des Kehlkopfmuskelringes und der Atmung. Übersichtlich sind die einzelnen Meinungen zusammengestellt von Grützner, Nagel und v. Skramlik.

c) *Bau des Kehlkopfes.*

Die gesamte bisherige Beschreibung ist noch nicht imstande, ein richtiges Bild des Kehlkopfes und seiner Tätigkeit zu entwerfen. Die Knorpel, die Muskeln und Bänder, die wir besprochen haben, sind im wesentlichen das Grundgerüst des Kehlkopfes. Zwischen diesen Teilen liegt noch eine große Masse von Weichteilen, und der gesamte Kehlkopf ist in seiner Innenfläche tapetenartig überzogen von Schleimhaut. Um die Lagerung der einzelnen Teile sich richtig zur Anschauung zu bringen, ist es demnach am besten, den Kehlkopf in verschiedenen Durchschnittsbildern zu besichtigen. Die Abb. 16 stellt einen parallel zur Stirn geführten Durchschnitt durch den Kehlkopf dar, und zwar die vordere Hälfte des Kehlkopfes. Wir sehen dabei unten die Luftröhre, welche sich nach der Höhe der Stimmlippen zu allmählich verengt, so daß bei aneinanderliegenden Stimmlippen die Seitenteile sich berühren. Darauf weicht die Schleimhaut links und rechts tief zurück und kehrt in einem großen Bogen nach der Mitte zu zurück. Dieser Bogen umfaßt die Morgagnische Tasche, die nach oben hin durch den Schleimhautrand der sogenannten falschen Stimmlippen oder Taschenfalten, früher Taschenbänder genannt, begrenzt wird. Die Schleimhaut kehrt dann nämlich sehr bald wieder nach außen hin und endet in dieser Abbildung schließlich oben in dem Kehldeckel. Die falschen Stimmlippen sind nichts weiter als Schleimhautfalten (keine Bänder). Wir sehen aus dieser Abbildung, daß die wahren Stimmlippen auch nicht Bänder sind, sondern man könnte sie Balken nennen, die, mit einer Fläche an der Seitenwand befestigt, die dritte Kante nach

Abb. 16 (nach Henle-Merkel).

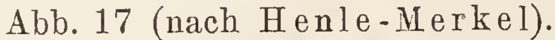


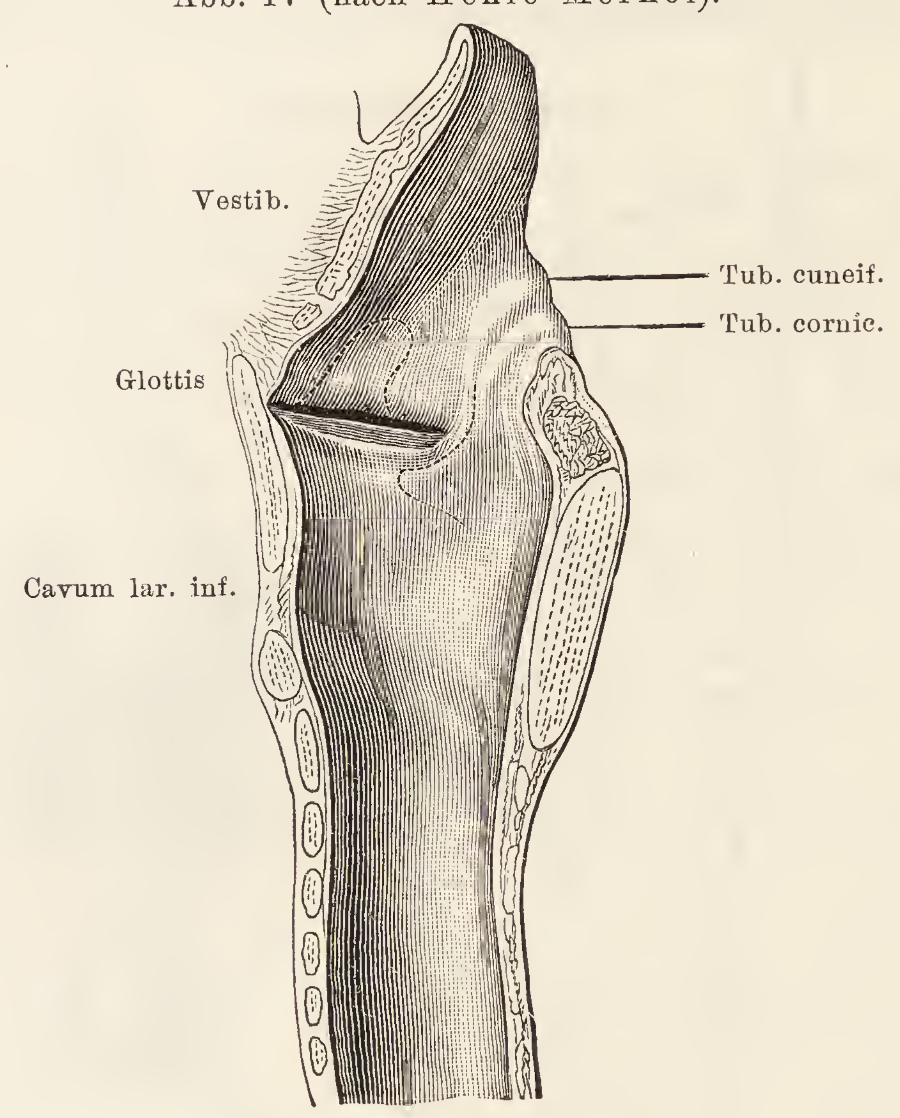
Frontalschnitt des Kehlkopfes, von innen.

1 Wulst der Epiglottis. 2 Ventriculus laryngis. 3 Appendix desselben. 4 Plica ventricularis (Taschenfalte). 5 Plica vocalis (Stimmlippe).

innen kehren. Daher ist man von der Bezeichnung Stimmbänder mit Recht abgekommen. In diesen Stimmlippen liegt der Musculus thyreo-arytaenoideus internus, den wir schon kennengelernt haben.

Es ist klar, daß bei Erschlaffung dieses Muskels die Stimmlippen dünn sind, daß dagegen bei seinem Zusammenziehen eine kräftige Rundung derselben eintreten muß. Abb. 17 zeigt den Kehlkopf von der Seite her in der Mittellinie aufgeschnitten. Die einzelnen Bezeichnungen der Teile sind aus der Abbildung deutlich ersichtlich. Blicken wir noch einmal auf


Abb. 17 (nach Henle-Merkel).



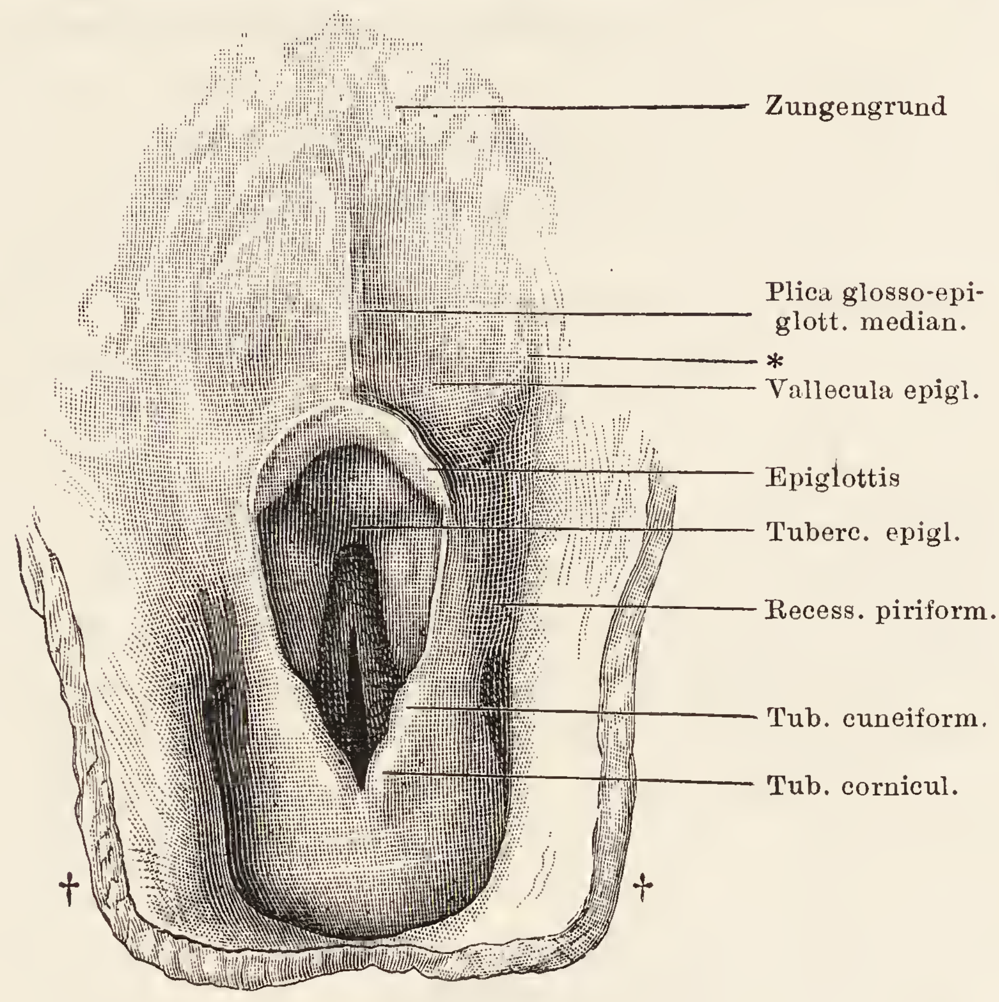
Medianschnitt des Kehlkopfes.

Abb. 16 und denken wir uns, ein Auge sähe direkt von oben in die Hohlröhre des Kehlkopfes hinab, so zeigt sich deutlich, daß die Taschenfalten den am weitesten seitwärts gelegenen Teil der oberen Stimmlippenflächen, die ja im wesentlichen wagerecht sind, verdecken müssen, so daß nur der mittelste Teil der Stimmlippen dem Auge sichtbar wird. Wenn wir demnach gerade von oben her den Kehlkopfeingang ansehen, so sieht er so aus, wie es Abb. 18 zeigt, die einen Schnitt in der Wagerechten gerade über dem Zungengrunde darstellt. Zur Vervollständigung der Anschauung geben wir noch das Bild (Abb. 19) des Kehlkopfeinganges, das sich in dem Spiegel beim Laryngoskopieren zeigt.

In einer jüngst erschienenen Arbeit weist Weleminsky darauf hin, daß der Kehlkopf entwicklungsgeschichtlich primär als Ab-

schluß der Luftwege beim Schlucken, Brechen, Pressen und Husten gedient habe. Erst sekundär sei er zum Sprachorgan weiterentwickelt worden. Die weiteren Ausführungen Weleminskys müssen an Ort und Stelle nachgelesen werden. Da seine Ansichten über die Physiologie der

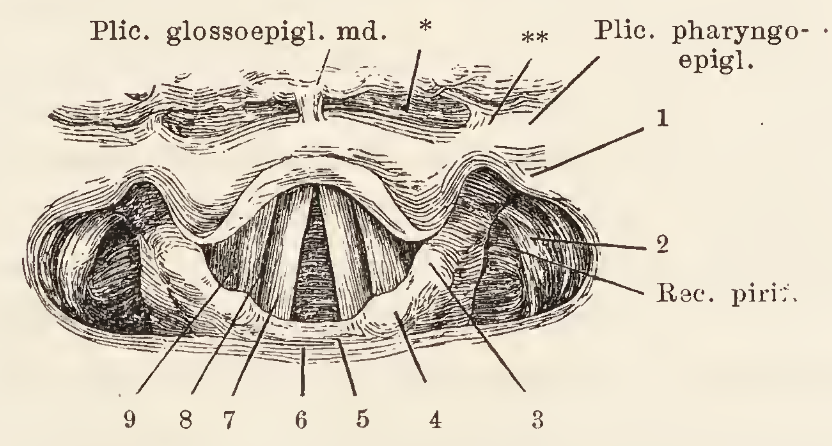
Abb. 18 (nach Henle-Merkel).



Gegend des Kehlkopfeinganges, von oben.

* Verbindungsfalte von Arcus pharyngo-epiglotticus zur Zunge (Plica glosso-epiglottica lateralis). †† Aufgeschnittene und zurückgeklappte Pharynxwand.

Abb. 19 (nach Henle-Merkel).



Mit dem Kehlkopfspiegel aufgenommenes Bild des Kehlkopfeinganges.

1 Wölbung, dem großen Zungenbeinhorn entsprechend. 2 Desgleichen über dem oberen Horn der Cart. thyreoidea. 3 Desgleichen über der Cart. cuneiformis (Tub. cuneif.). 4 Desgleichen über der Cart. corniculata (Tub. cornic.). 5 Plica inter-arytaenoidea. 6 Hintere Wand des Pharynx. 7 Lab. vocale (Stimmlippe). 8 Ventr. laryngis. 9 Plica ventricular. * Vallecula epiglottica. ** Plica glossoepiglott. lat.

Bewegungsvorgänge am Kehlkopf zum Teil mit den heute geltenden im Widerspruch stehen, muß erst eine Nachprüfung abgewartet werden. Seine Ausführungen sind jedenfalls sehr lesenswert.

B. Die Physiologie der Atembewegungen beim Sprechen.

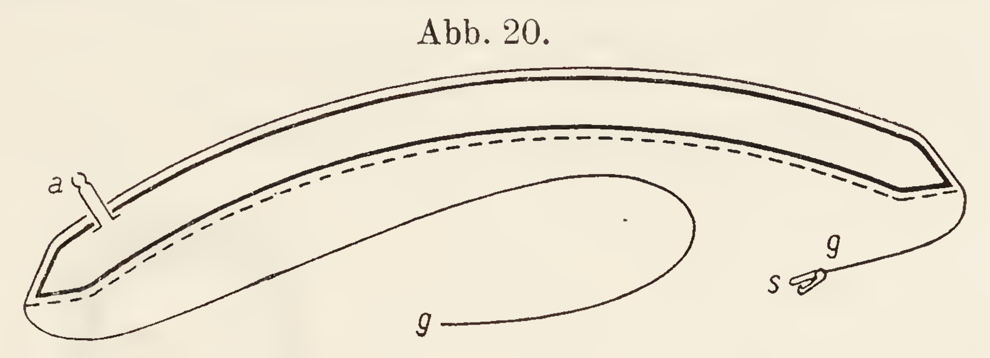
1. Zur Schreibung der Atembewegungen.

Die Atmung in der Ruhe geht durchaus automatisch vor sich und hängt von der Unversehrtheit einer bestimmten Stelle im verlängerten Mark am Boden des vierten Hirnventrikels ab. Die Ruheatmung zeigt eine sehr gleichmäßige Bewegung. Ein- und Ausatmung lösen sich in regelrechter Folge ab, vorausgesetzt, daß der Mensch von keiner besonders starken Erregung ergriffen ist. Sowie aber irgendwelche Einflüsse auf sein Seelenleben sich geltend machen, sei es nun in der Form der Affekte, sei es auch darin, daß seine Aufmerksamkeit durch irgend etwas Neues erregt wird, ändert sich der Typus der Atmung. Offenbar sind es dann besondere, vom Gehirn aus auf das Rückenmarkzentrum einwirkende Einflüsse, welche den normalen, regelrechten Typus der Ruheatmung verändern. Dieser Umstand ist dazu benutzt worden, um aus den Veränderungen, die sich in den noch zu besprechenden Atmungskurven geltend machen, bestimmte Rückschlüsse zu ziehen, und ein Teil der experimentellen Psychologie baut sich auf diesen Erscheinungen auf (vgl. die Arbeiten von Zoneff und Meumann, Nadoleczny und R. Schilling).

Da es für die Physiologie der Atmung beim Sprechen durchaus erforderlich ist, einen genauen Einblick in die Atmungsvorgänge zu gewinnen, so dürfen wir uns bei diesem Bestreben nicht allein auf die bloße Beobachtung verlassen, sondern müssen durch objektive Untersuchungsverfahren diese Erkenntnis zu erreichen suchen. Es würde zu weit führen, hier alle Apparate anzugeben, welche für die graphische Darstellung der Atembewegungen vorgeschlagen und benutzt worden sind. Es möge nur kurz an die Pneumographen von Paul Bert, Marey, Rousselot, Pick und verschiedene andere erinnert werden, sowie neuerdings an den Diaphragmographen von Schilling. Gerade weil psychische Einflüsse sehr leicht imstande sind, die Atmung in ihrem normalen Ablauf zu stören, wird man bei solchen Untersuchungen gut tun, stets solche Apparate anzuwenden, welche möglichst ohne jegliche Behinderung angelegt werden können, und die keinerlei Vorsicht in bezug auf die Haltung und Bewegung von seiten des zu Untersuchenden erfordern.

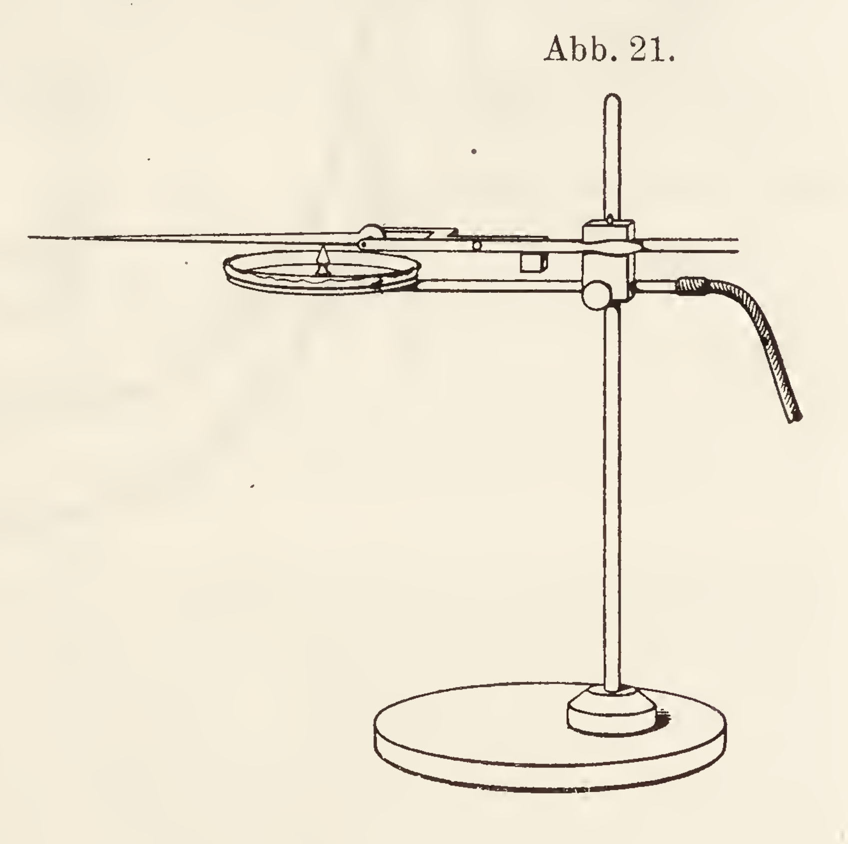
Gutzmann sen. hat sich daher zu seinen Untersuchungen des von ihm angegebenen sogenannten Gürtelpneumographen bedient. Derselbe ist im wesentlichen nichts weiter als ein ungefähr 2 cm Lumendurchmesser haltender Schlauch aus weichem Gummi, der allseitig geschlossen ist und nur in der Mitte eine kleine Ableitungsröhre trägt, die in Verbindung mit einer Schreibkapsel steht.

Abb. 20.



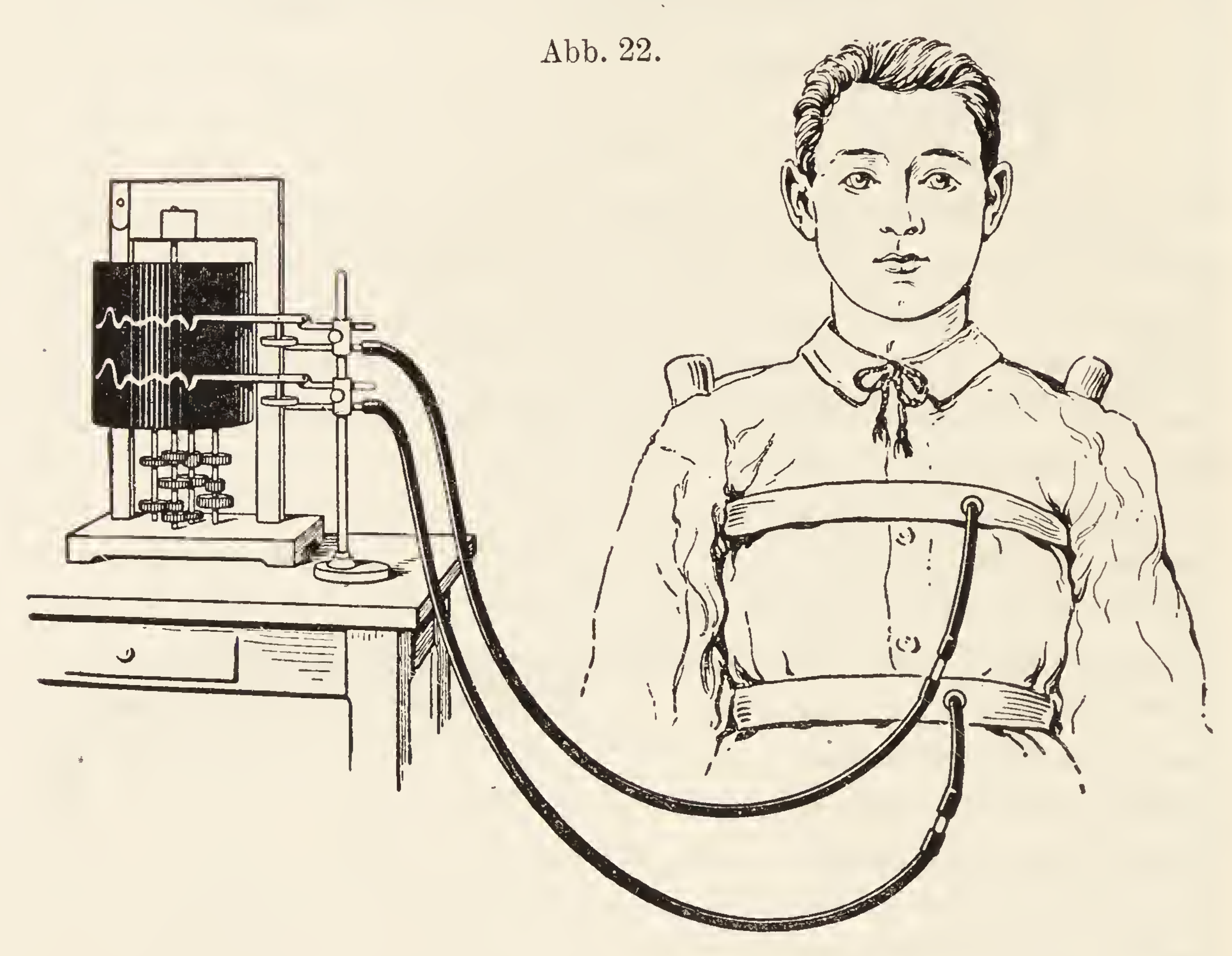
Neuerdings hat Schilling angegeben, daß geradachsige Pneumographen unter Umständen böse Fehlerquellen ergeben, wenn sie bei stark gewölbtem Brustkorb durch enges Anliegen eine Formveränderung erfahren. Letztere bewirkt eine mit Fehlern behaftete Schreibung der Atemvorgänge. Um dem abzuhelfen, konstruierte Wethlo Pneumographen mit gebogener Achse (Abb. 20). Der Schlauch wird auf der Innenseite, welche dem Körper anliegt, von elastischem Gewebe umhüllt. Über die Außenseite läuft ein unelastisches Gurtband, dessen verlängerte Enden zusammengeschnallt werden können. Erweitert sich der Brustumfang, so wird der Schlauch zusammengedrückt, und dieser Druck wird auf die Schreibkapsel übertragen; wird der Umfang wieder kleiner, wie bei der Ausatmung, so läßt der Druck in dem Gummischlauch nach, was sich ebenfalls auf den Schreibhebel überträgt. Abb. 22 gibt ein klares Bild von dem Vorgang einer solchen pneumographischen Aufnahme. Die Schreibkapsel selbst ist eine mit einer Gummimembran überzogene Hohlpfanne (Abb. 21); die Be-

Abb. 21.



wegungen der Gummimembran, welche den Druck der im Gummischlauch enthaltenen Luft anzeigen, werden in einfacher Weise auf den mit dem Zentrum der Gummimembran verbundenen Schreibhebel übertragen. Die einfachsten Schreibhebel arbeiten auch hier am besten. In besonderen Fällen läßt sich der von Panconcelli-Calzia verbesserte Ganskesche Schreibhebel mit Vorteil verwenden. Die Übertragung der Atmungsbewegungen sowohl von der Brust- wie von der Bauchatmung ist auf diese Weise einfach und geschieht so sicher, daß man den Gürtelpneumographen sogar über einer

Abb. 22.



leichten Kleidung anlegen kann. Um besonders auf die Unterschiede zwischen der Ruhe- und der Sprechatmung zu achten, ist es ferner notwendig, nicht eher die Sprechkurven aufzunehmen, als bis die Ruheatmung ein ganz gleichmäßiges Verhalten zeigt, und die Ruheatmung stets mit aufzuzeichnen; denn nur dann sind wir sicher, daß in der Tat der zu Untersuchende keinerlei Zeichen einer psychischen Beeinflussung seiner Atmungskurve aufweisen wird. Da derartige Einwirkungen besonders durch optische und akustische Reize entstehen, wird auch bei diesen Untersuchungen zu beachten sein, daß man sich mit dem zu Untersuchenden an einem möglichst ungestörten Orte befindet,

und daß er die Aufnahme nicht mit den Augen beobachten kann (Körperbewegungen verändern den Kurvenablauf ebenfalls). Da die Zeitaufnahme durch einen Chronographen, der ja stets hörbar ist, erfolgt, muß man unter Umständen die Zeitkurve erst nachträglich der Atmungskurve hinzufügen, regelmäßigen Gang des Apparats natürlich vorausgesetzt. Die Bewegungen des Schreibhebels werden in bekannter Weise auf das über eine Kymographiontrommel gespannte berußte Papier übertragen, so wie es die Abbildung zeigt.

Was die Ausmessung der Kurven anbetrifft, so geben nur zeitliche Differenzen und relative Vergleichungen der Hubhöhe des Schreibhebels einmal in der Ruhe- und dann in der Sprechatmung derselben Kurve das Material zur Beurteilung der einzelnen Kurven ab. Untereinander liegen bei Kurven, die mit Schreibhebeln auf sich drehendem Kymographion gewonnen sind, immer die Punkte, die der Schreibhebel mit einer Kreisbewegung erfaßt. Synchrone Punkte liegen also nicht senkrecht untereinander, sondern auf einem Kreisbogenabschnitt, dessen Radius der Länge des Schreibhebels von seiner Spitze bis zu seinem Drehpunkt entspricht. Zur Ausmessung bedient man sich daher zweckmäßig einer dem Ordinatenlineal von Landois nachgebildeten Kreisbogenschablone von Panconcelli-Calzia.

2. Die Sprechatmung.

Die Sonderart der Atembewegungen beim Sprechen war den Physiologen nicht entgangen. Trotzdem war nur wenig Genaueres darüber in den physiologischen Lehrbüchern enthalten. Immerhin ist in den meisten Lehrbüchern der Sprachphysiologie einiges über diesen Gegenstand mitgeteilt.

Schon Kempelen, dessen bewunderungswürdige Beobachtungsgabe der graphischen Methodik fast entraten konnte, hebt den eigentümlichen Gegensatz der Sprechatmung zur Ruheatmung ausdrücklich hervor. Er sagt: „In den Zwischenräumen und Absätzen der Rede holt man geschwinde Atem, und wenn die Lunge einmal gefüllt ist, so wird die Luft, die sich in eine Stimme verwandeln und durch verschiedene Hindernisse durchdrängen muß, nur langsam herausgelassen, es bleibt also die Lunge längere Zeit mit Luft gefüllt als ausgeleert.“ Merkel unterscheidet in seiner Anatomie und Physiologie des menschlichen Stimm- und Sprachorgans (1857) nahezu ein Dutzend verschiedener phonischer Exspirationsarten und betont auch in seiner 1866 erschienenen Physiologie der menschlichen Sprache noch, daß der lange Exspirationsstrom im Sprechen vorwiegend von der Verengerung der Ausflußöffnung durch Phonationsenge und Artikulationshemmnisse bewirkt sei, so daß gleichsam die eigenartige Sprechausatmung, die so überaus

charakteristisch bei jeder Atmungskurve ins Auge fällt, mehr der Ausdruck der Passivität der Atmungsmuskulatur als die Darstellung der langsam harmonisch abgestuften Ausatmungsbewegung sein müßte. Nicht mehr dieser Anschauung ist Sievers in seinen Grundzügen der Phonetik (1893), indem er folgendes über die Respirationsverhältnisse ausführt: „Beim Atmen wird die Luft unter wesentlich gleichen Druckverhältnissen und in gleichen Zeiträumen langsam und gleichmäßig eingezogen und ausgestoßen, beim Sprechen wird dagegen zunächst durch einen raschen Hub des Brustkastens ein größerer Vorrat an Luft schnell in die Lungen eingeführt. Die Ausatmung geschieht mehr in abgebrochenen einzelnen Stößen von verschiedener Dauer und sehr verschiedener Druckstärke. Von dieser letzteren hängt dann wieder die Intensität der einzelnen sprachlichen Gebilde ab, welche in den betreffenden Momenten hervorgebracht werden. Dabei ist indessen nicht zu übersehen, daß die Druckstärke, mit welcher die Luft aus den Lungen in das Sprachorgan eingetrieben wird, doch nicht mehr allein maßgebend ist für die Intensität des spezifischen Klanges eines Lautes. Bei einem Laute wie *f* wirkt z. B. der Exspirationsstrom mit voller Stärke auf die ihm an den Lippen und Zähnen entgegengestellten Hemmnisse ein, und das Reibungsgeräusch des *f* ist daher entsprechend kräftig. Anders bei *w*. Bei diesem Laute wirkt die Stimme mit. Durch den Widerstand, welchen der Exspirationsstrom hier bereits im Kehlkopf findet, wird ihm ein Teil seiner Kraft geraubt, das Reibungsgeräusch des *w* ist daher bedeutend schwächer als das eines *f*, welches mit gleichem Druck von seiten der Lungen aus gebildet wird. Man muß diese durch sekundäre Einflüsse veränderte Exspirationsintensität streng von der primären Kraft des Exspirationsstromes unterscheiden."

Am ausführlichsten und bis jetzt erschöpfendsten geht Grützner in seiner vortrefflichen Physiologie der Stimme und Sprache auf die Atmung ein. Er hebt hervor, daß die Kräfte, welche der Atmungsluft die nötige Spannung und Geschwindigkeit erteilen, teils elastische, dem Willen nicht unterworfene, teils willkürliche, auf der Tätigkeit der Exspirationsmuskeln beruhende sind und weist darauf hin, welch unendlich vieler Abstufungen der komplizierte Bewegungsmechanismus der Atmung fähig ist, je nachdem unsere Stimme weithin schallen oder nur in nächster Nähe verstanden werden soll. Er weist ferner mit Recht auf das eigenartige Verhältnis der Antagonisten bei der Atmungsmuskulatur hin, die offenbar die Abmessung des Typus der Atmung ermöglichen. Dieses gegenseitige sorgfältige Abwägen der Muskeltätigkeit, sagt Grützner ferner, sei von der größten Bedeutung. Das zeige sich am besten dann, wenn wir aus irgendwelchen Ursachen gezwungen seien, häufiger zu atmen, wenn wir z. B. rasch und anhaltend gelaufen sind; dann können wir nur einen kleinen Teil der Exspirationsluft zur Sprache verwenden und sind schon nach sehr kurzer Zeit genötigt, neu einzuatmen: wir können daher nur wenige Worte in einem Atemzuge sprechen, während wir bei gewöhnlicher ruhiger Atmung ganze Sätze mit der nötigen Hebung und Senkung der Stimme zu produzieren vermögen. Besonders dankenswert und in vieler Hinsicht anregend ist Grützners Bemerkung an dieser Stelle, daß auch krankhafterweise durch Beeinflussung der Atmung eine unterbrochene Sprache entsteht, wenn infolge zentraler Erkrankungen (der Medulla

oblongata) die Tätigkeit der In- und Exspirationsmuskulatur nicht harmonisch ineinandergreift. Ausdrücklich weist er ferner auf das Stottern hin, daß er mit Kussmaul als spastische Koordinationsneurose bezeichnet. „Hier geraten die zentralen koordinierten Kräfte bei geringen, z. B. gemütlichen Störungen aus ihrem labilen Gleichgewicht und vernichten den gleichmäßigen Fluß der Sprache.“ Damit ist die Auffassung des Stotterns als einer funktionellen Störung wohl vereinbar.

Daß aber die Beobachtung allein, die bloße Betrachtung und Betastung nicht ausreicht, um sich über einzelne Phasen der Bewegung zu unterrichten, gilt nicht nur für die Ruheatmung, sondern noch viel mehr für die Sprechatmung. Schon bei der Beobachtung der Ruheatmung sind, bevor die graphische Darstellung verwendet wurde, widersprechende Darstellungen zutage getreten. So führt z. B. Ludwig in seiner Physiologie des Menschen ausdrücklich an, daß in der Ruheatmung die Einatmung gemeiniglich etwas länger dauere als die Ausatmung, und beschreibt eine Atempause in der Ruheatmung. Beides ist, wie wir aus den Mareyschen Darstellungen und aus den Kurven Paul Berts und vieler anderer wissen, nicht richtig. Immerhin können wir einiges durch bloße Beobachtung und auch Selbstbeobachtung über die Unterschiede der Sprech- und Ruheatmung ohne weiteres feststellen, was für die Auffassung unserer Atmungsbewegungen von sehr wesentlicher Bedeutung ist, und was von den Sprachphysiologen bisher nur wenig beachtet wurde.

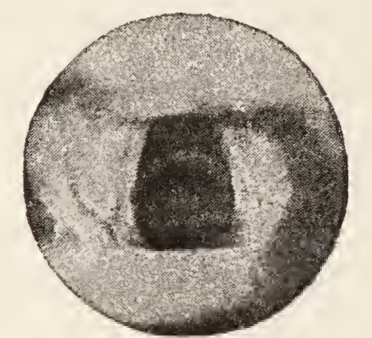
Zunächst ist ohne weiteres sehr wahrnehmbar, was bereits bekannt war und von Kempelen und allen übrigen Sprachphysiologen angeführt wird, daß die Atmung beim Sprechen sich sehr wesentlich dadurch von der in der Ruhe unterscheidet, daß die Einatmungen sehr kurz, die Ausatmungen außerordentlich lang sind. Hermann von Meyer weist darauf hin, daß durch diese Art der Atmungstypen eine ununterbrochene, außerordentlich lange Ausatmung zustande käme, d. h. die für das Sprechen zweckmäßigste Art der Atmung.

Worauf weit weniger geachtet worden ist, und was doch von sehr wesentlicher Bedeutung ist, das ist der Weg der Atmung. Beobachten wir einen Sprecher, der nicht nur kurz Antworten auf Fragen gibt, sondern der z. B. einen längeren Vortrag hält, so bemerken wir, daß die Einatmung stets durch den offenen Mund geschieht. Diese reine Mundatmung während des Sprechens ist so charakteristisch, daß selbst ganz kleine Kinder, sowie sie ein Verschen oder ein kurzes Gebet aufzusagen vermögen, diesen Typus der Atmung

deutlich zeigen. Offenbar ist er aus der ersten Schreiatmung entstanden; denn wir sehen schon, daß der Säugling, der in der Ruheatmung, so wie das normal ist, durch die Nase ein- und ausatmet, beim Schreien den Mund während der Einatmung weit öffnet. Wenn daher Vorschriften für die Atmung beim Sprechen und Singen gegeben werden, und in diesen Vorschriften eine nasale Atmung empfohlen wird, so findet diese Empfehlung keine Begründung in der physiologischen Beobachtung.

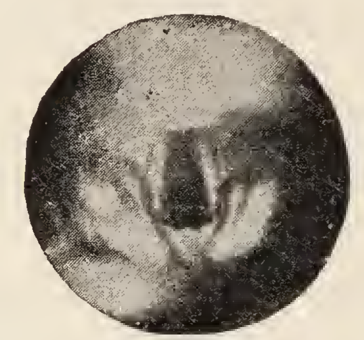
Schilling hat diese Frage auch noch von einem etwas anderen Standpunkt aus untersucht. Er sieht in dem unwillkürlich verschiedenen Gebrauch von Nasen- und Mundatmung, die nicht selten sogar abwechselnd oder gleichzeitig angewandt werden, ein Ausdrucksmittel je nach den Vorstellungstypen des einzelnen Sprechers

Abb. 23.



Einatmung zum Sprechen.

Abb. 24.



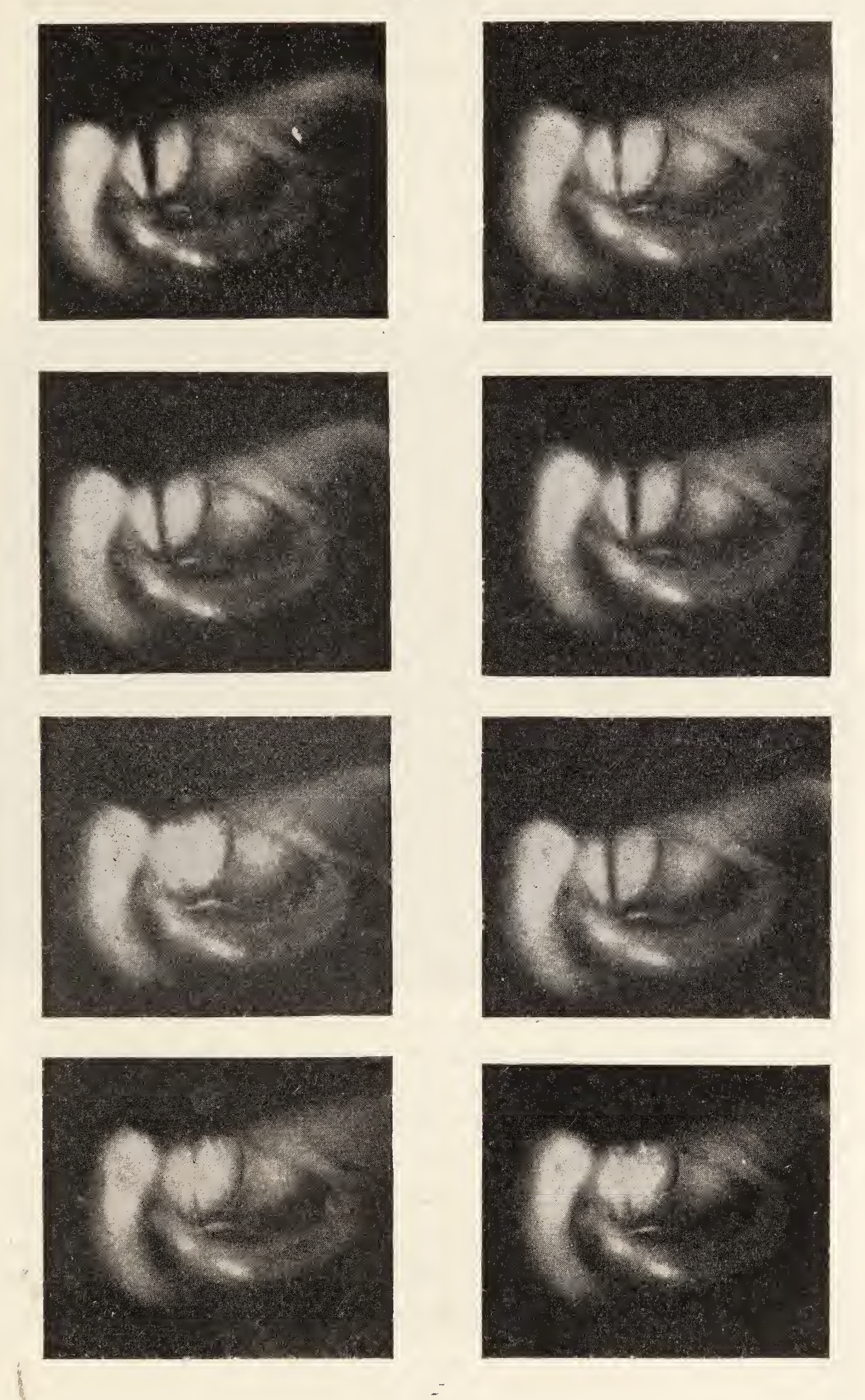
Einatmung und Ausatmung in der Ruhe.

oder Sängers. Ebenso ist nach Schilling die psychisch scheinbar nicht zu beeinflussende Einatmung mit Ausdruckswerten verbunden.

Endlich ist von Wichtigkeit, daß wir die Einatmung beim Sprechen nicht nur schnell, sondern auch ohne jedes Geräusch vollführen, ein Umstand, der wesentlich dadurch zustande kommt, daß alle dem Einatmungsstrom entgegenstehenden Hemmnisse nicht nur durch den weit geöffneten Mund, sondern auch durch die bei der tiefen Sprecheinatmung weit auseinanderklaffenden Stimmlippen aus dem Wege geräumt sind. Zahlreiche Stimmstörungen entstehen durch Verstoß gegen diese physiologische Regel. Wie selten aber auch bei berufsmäßigem Gebrauch der Stimme eine solche geräuschlose Atmung ist, davon kann man sich leicht mit Hilfe des Radio-Apparates überzeugen, der gerade Geräusche vorzüglicher überträgt als Töne. Wird zum Sprechen tief eingeatmet, so zeigt das Kehlkopfbild[1]) eine deutliche Wirkung der Musculi crico-arytaenoidei

[1]) Über Laryngoskopie und Autoskopie des Larynx s. das Lehrbuch der Krankheiten des Ohres und der Luftwege von A. Denker und W. Albrecht (Jena 1925).

Abb. 25.

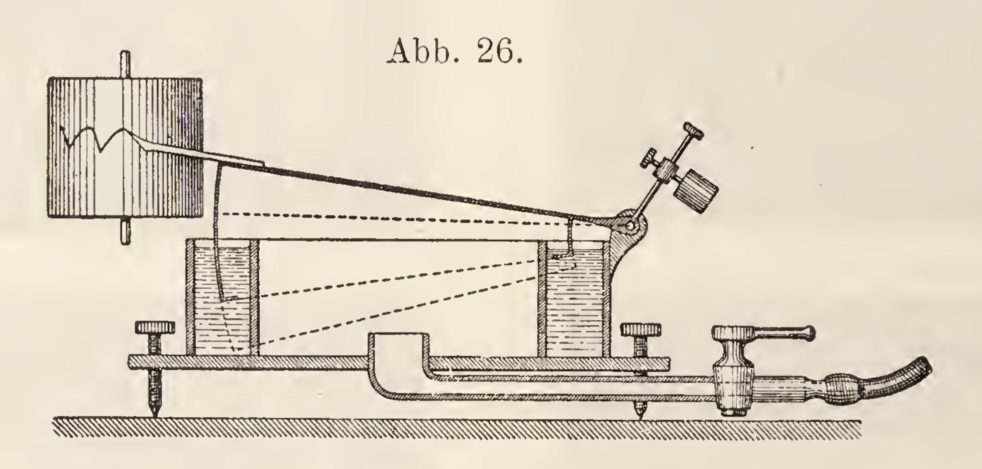


postici. Die Photographie (Abb. 23), die von dem Kehlkopf des Verfassers (Gutzmann sen.) durch Herrn Kollegen Musehold aufgenommen worden ist, zeigt das charakteristische Ausbuchten oder Knicken der Stimmlippen an den Processus vocales, während Abb. 24 ungefähr die Mittelstellung der Stimmlippen bei Ein- und Ausatmung der Ruheatmung zeigt.

Die acht Aufnahmen (Abb. 25) sind stroboskopische Aufnahmen von phonierenden Stimmlippen. Ihre Schließung und Öffnung ist hier also nicht auf die Atmung zurückzuführen, sondern auf das polsterpfeifenähnliche (s. S. 50) Schwingen der Stimmlippen während der Stimmgebung. Die Aufnahmen stammen aus dem stroboskopischen Film von Hegener-Calzia und wurden mir von jenen Herrn in liebenswürdigster Weise zur Verfügung gestellt.

Von den genannten drei Merkmalen ist ferner in bezug auf das ersterwähnte, die lange Ausatmung, noch besonders darauf zu

Abb. 26.



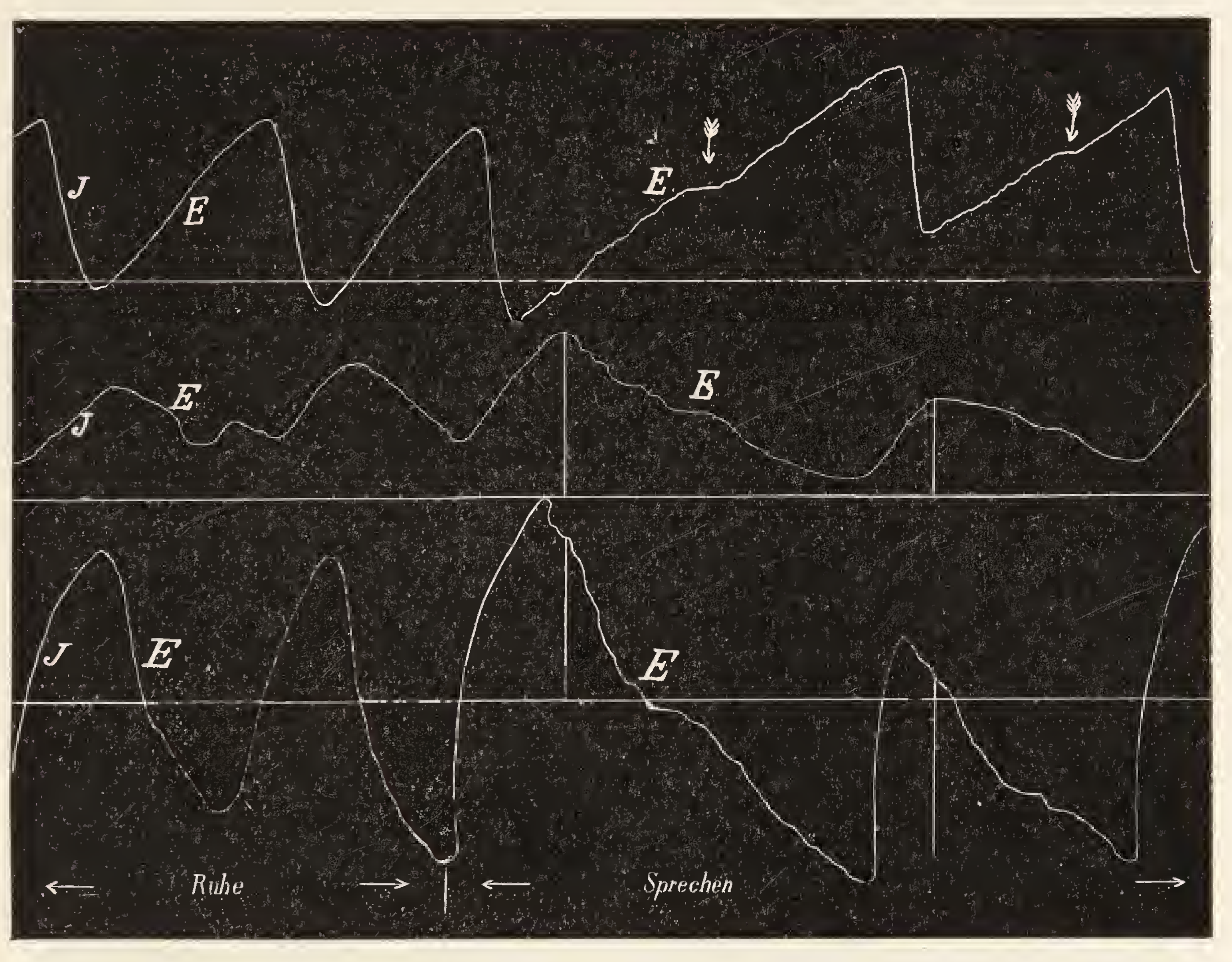
verweisen, daß die Ausatmung während längeren Sprechens oder Vorlesens durchaus nicht gleichmäßig und ohne Unterbrechung stattzuhaben braucht, sondern daß sie in verschiedene Ausatmungsstrecken zerfallen kann, zwischen denen keine Einatmung stattfindet. Stellen wir mit einem kurzen senkrechten Strich die Einatmung, mit langem wagerechten die Ausatmung dar, so ist das Bild der Sprechatmung demnach nicht nur durch einen kurzen senkrechten und einen langen wagerechten Strich wiedergegeben, sondern bei längerem Vorlesen müßten wir diesen wagerechten Strich in verschiedene Absätze zerteilen:

| ——— ——— ———

Die Pausen, in denen die Atembewegung aussetzt, in denen ein Stillstand des gesamten Sprechapparates in einer bestimmten Stellung statthat, ohne Stimmlippenschluß, treten an den Stellen

der Rede ein, bei denen der Sinn eine kurze Pause verlangt, wo aber, da noch genügend Luft vorhanden ist, eine neue Einatmung noch nicht notwendig erscheint. In sehr schöner Form kann man dies Verhalten wahrnehmen, wenn man eine Volumenkurve der ein- und ausgeatmeten Luft mittels des Gad schen Atemvolumenmessers, dessen Einrichtung aus Abb. 26 ersichtlich ist, aufschreiben läßt. Die beigegebene Kurve (Abb. 27) stammt von einem normal sprechenden 30jährigen Manne, an dem, bevor diese Kurve gewonnen wurde,

Abb. 27.



eine größere Anzahl von Atmungsversuchen bereits gemacht worden war, so daß er durch die Versuche in keiner Weise mehr abgelenkt wurde. Daher sehen wir auch, daß die Ruheatmung sehr langsam vor sich geht. Die Stellen, an denen bei der Rede eine Pause gemacht wurde, ohne daß eine neue Einatmung erfolgte und ohne daß die Ausatmung ohne sprachliche Verwendung weiterging, zeigen sich allerdings auch in den mittels des Gürtelpneumographen aufgenommenen Brust- und Bauchkurven (Abb. 27), aber sie treten in diesen Kurven nicht annähernd so scharf hervor wie gerade in der

Volumenkurve, in der sie sich durch einen nahezu wagerechten Strich deutlich anzeigen. Ungemein häufig, namentlich bei Stotterern, wird gegen diese Norm der Atemverteilung in der Ausatmung gesündigt, indem an den betreffenden Pausen von neuem kleine Luftmengen eingeschöpft werden.

Von großer Wichtigkeit für die vollständige Erkenntnis der Sprechatmungsbewegungen ist ferner die gesonderte Betrachtung der Brust- und Bauchatmungsbewegungen. Hier auf die Tätigkeit der einzelnen Muskelgruppen des näheren einzugehen, würde zu weit führen. Nur insofern müssen die Verschiedenheiten der Brust- und Bauchbewegungen in Betracht gezogen werden, als diese beiden Bewegungsarten in durchaus verschiedener Beziehung zu unserer Willenstätigkeit stehen.

Die Brustbewegung kann uns jederzeit unmittelbar zum Bewußtsein kommen, da wir sie tasten und sehen können. Wir nehmen mit der aufgelegten Hand die Hebungen und Senkungen der Rippen wahr, wir sehen sie, wir empfinden sie auch, ohne daß wir sie betasten, durch das infolge der Gelenkverbindungen der Rippen sehr ausgeprägte Muskel- und Lagegefühl und durch die Spannungsverschiedenheiten der über den Rippen liegenden Brusthaut. Die direkte Beobachtung der Zwerchfellbewegungen dagegen ist nur im Röntgenbild möglich, wenn man von der von Hultkranz angegebenen, etwas heroischen Möglichkeit absieht. Er verschluckte nämlich einen Gummischlauch, an dessen Ende ein kleiner Gummiballon angebracht war. Dieser wurde dann aufgeblasen, so daß er den Magen nicht mehr durch die Speiseröhre verlassen konnte. Er war also unter dem Zwerchfell eingeschlossen und mußte dessen Bewegungen mitmachen. Diese wurden durch einen im Gummirohr laufenden unnachgiebigen Faden auf eine Schreibkapsel übertragen. Die Ergebnisse stimmen nach Schilling größtenteils mit den auf röntgenologischem Wege gewonnenen Werten späterer Untersucher auffallend überein. Die Zwerchfellbewegungen nehmen wir sonst nur sekundär zum Teil durch das Vorwölben der Bauchdecken wahr, das ja bekanntlich ganz passiv erfolgt. Neuerdings untersuchte R. Schilling drei Typen, den kostalen, epigastrischen und abdominalen, die sich schon bei Lageveränderungen des ganzen Körpers, so vom Stehen zum Sitzen und Liegen, in abdominalem Sinne ändern. Bei den verschiedenen Atmungsarten, Ruheatmung, Tiefatmung, Sprech- und Singatmung, sind die möglichen Verschiebungen in der einen oder anderen Richtung noch vielfältiger. Er stellte mit Bandmaß den Brustumfang in der Zwerchfellgegend fest, maß orthodiographisch die größte Zwerchfellbewegung und bestimmte das Fassungsvermögen der Lungen des gerade untersuchten Falles. Aus diesen drei Größen gewann er in Verbindung mit einem an einer Formalinleiche aus Mittelwerten gewonnenen Index eine einfache Formel, die den Flächeninhalt des lebendig-tätigen Lungengewebes in Beziehung setzt zu dem zugehörigen Brustumfang. So konnte dann der absolute Rauminhalt der durch die Zwerchfellbewegung hin und her geschobenen Luftmenge errechnet und sein Verhältnis zur gesamten bewegten Atmungsluft erkannt werden. „Die so berechneten Werte ergaben, daß der Diaphragmaanteil (Zwerchfell-

anteil) bei der Tiefatmung beider Geschlechter gleich groß (etwa 20 $^0/_0$), bei der Ruheatmung beim weiblichen Geschlecht kleiner (etwa 15 $^0/_0$), beim männlichen Geschlecht größer (etwa 34 $^0/_0$) und bei der Singatmung der geschulten Sänger und der Kinder größer ist, als bei der Tiefatmung.“ Im Zwerchfell selbst haben wir keine Spur von Bewegungsempfindungen oder Muskelgefühl. Aus der Atmungsbewegung allein könnten wir uns auch niemals ein direktes Bild, eine Vorstellung von der Zwerchfelllage und Bewegung machen, wenn wir nicht anatomische Kenntnisse über diese Verhältnisse auf irgend eine Weise erworben hätten. Daher kommt es, daß Laien, die über Atmungsbewegungen geschrieben haben, so besonders Gesangslehrer, so vielfache Irrtümer in ihren Darstellungen bringen. Sie lassen angeblich direkte Zwerchfellbewegungen üben und glauben dies dadurch zu bewerkstelligen, daß sie die Muskeln des Bauches in Tätigkeit bringen. So aber können wir niemals zum Bewußtsein unserer Zwerchfellbewegungen gelangen! Wenn wir eine Regulation derselben zustande bringen wollen, so kann dies nur dadurch geschehen, daß wir die seitlichen Rippenbewegungen willkürlich machen und unter der Kontrolle derselben auf die Zwerchfellbewegung schließlich einwirken.

Wie man aus dieser Darstellung sieht, besteht also neben den allbekannten mechanischen Unterschieden der beiden Atmungstypen, des kostalen und abdominalen, auch ein psychischer Unterschied: die Brustbewegungen stehen mehr unter unserem Willenseinfluß, mehr unter dem zerebralen Atemzentrum als die des Bauches. Daher kommt es, daß bei tiefer und verstärkter Atmung bei beiden Geschlechtern die Erweiterung des Brustraumes vorwiegend durch starke Erhebung des Brustkorbes und der Rippen bedingt wird [Ludwig[1]), Landois[2]), Hutchinson, Ransome[3]) u. v. a.]. Es muß deshalb von vornherein angenommen werden, daß beim normalen Sprechen die zerebrale Einwirkung auf den Automatismus der Atmung vorwiegend die Rippenbewegung betrifft; denn es ist ein allgemeines Gesetz, daß diejenigen Körperbewegungen am meisten unter der Herrschaft unseres Willens stehen, deren Lageveränderungen wir durch Muskel- und Berührungsempfindungen, Lagewahrnehmungen oder auch durch andere Sinne (Auge und Ohr) am besten zu beobachten imstande sind. Am Zwerchfell fällt, wie gesagt, solche Kontrolle vollkommen fort, da dasselbe kein merkliches Muskelgefühl besitzt und auch nicht direkt durch andere Sinne beobachtet werden kann. Diese a priori anzunehmende Unterscheidung hat Gutzmann sen. sich bemüht, durch eine große Anzahl von Versuchen auf ihre Richtigkeit zu prüfen und durch die Erfahrung zu bestätigen,

Schon die ausführlichen Untersuchungen von Riegel unterschieden die Brust- und die Bauchbewegungen sehr genau. Mosso hat dann in einer größeren Untersuchungsreihe, besonders um den sehr wesentlichen Einfluß des Willens auf Rhythmus und Mechanismus der Atembewegungen auszuschließen, die Atembewegungen bei Schlafenden registriert. Auf seine Ergebnisse ist

---

[1]) Physiologie des Menschen **2**, 312, 1856.

[2]) Lehrbuch der Physiologie des Menschen, 10. Aufl., 1900, S. 224.

[3]) A. Ransome, Observations upon the Movements of the Chest. Journal of Anatomy and Physiology **3**, 140—146, 1868.

hier keine Veranlassung, näher einzugehen; nur die Deutung, die er für das Verhältnis der beiden Kurven gibt, und die Gutzmann sen. auch voll für seine Kurven in Anspruch nimmt, ist hier wichtig. Besonders das, was er über die sich mehr oder weniger deutlich zeigende Inkongruenz der Brust- und Bauchkurven sagt, verdient Beachtung. Er hebt hervor, daß die respiratorischen Exkursionen der Bauchwand nicht ausschließlich von dem abwechselnden Spiele des Zwerchfelles und der Bauchpresse abhängen, sondern auch von den Bewegungen des Brustkastens, deren Einfluß in dieser Hinsicht diametral entgegengesetzt sei. Es würden daher, wenn der Einfluß beider Faktoren gleich ist, die Bauchwandungen vollkommen stillstehen, wie energisch sich auch das Zwerchfell und der Thorax bewegen mögen. „Bei überwiegendem Einfluß der Brustbewegungen wird die Bauchwand während der Inspiration sinken, während der Expiration steigen, ganz als ob das Zwerchfell gelähmt wäre" [1]).

In den sehr genauen Untersuchungen von Zoneff und Meumann [2]) zeigt sich mehrfach bereits sehr deutlich, daß ein wesentlicher Unterschied zwischen den Begleiterscheinungen der sinnlichen und denjenigen der intellektuellen Aufmerksamkeit in den Kurven sich aussprach: bei den ersten wurde der Atem fast vollständig gehemmt, während bei der zweiten der Atem nur partiell oder gar nicht gehemmt war. Auch zeigte sich, daß während der Aufmerksamkeitsspannung die Bauchatmung wenig geändert wurde, während die Ordinate der Brustatmung abgekürzt wurde. Die Autoren bemerken dazu: „Es zeigt sich übrigens, daß alle Gefühlsreaktionen dieser oder jener Art (Lust- und Unlustgefühle) mehr Änderungen in der thorakalen Atmung bewirken, und daß sich die abdominale Atmung nur in geringerem Maße verändert."

Wie diese Verhältnisse bei der Sprechatmung zum Ausdruck kommen, sei an einer Kurve gezeigt, die von einem 24 jährigen normalsprechenden Manne stammt (s. Abb. 28). Die erste Kurve gibt die Atembewegung der Nasenluft an, die so aufgeschrieben wurde, daß die obere Schreibkapsel mit der einen Nasenöffnung durch Schlauch und Ansatzolive verbunden war. Naturgemäß wird bei der Einatmung die Luft aus der Kapsel angesaugt. Die Nasenkurve fällt also bei der Einatmung und steigt bei der Ausatmung. Von der Stelle an, wo das Sprechen einsetzt, zeigt die Kurve nur ganz geringfügige Abweichungen von der Geraden (Gaumensegeltätigkeit) und beweist damit, daß während der Sprechatmung durch den Mund geatmet wird.

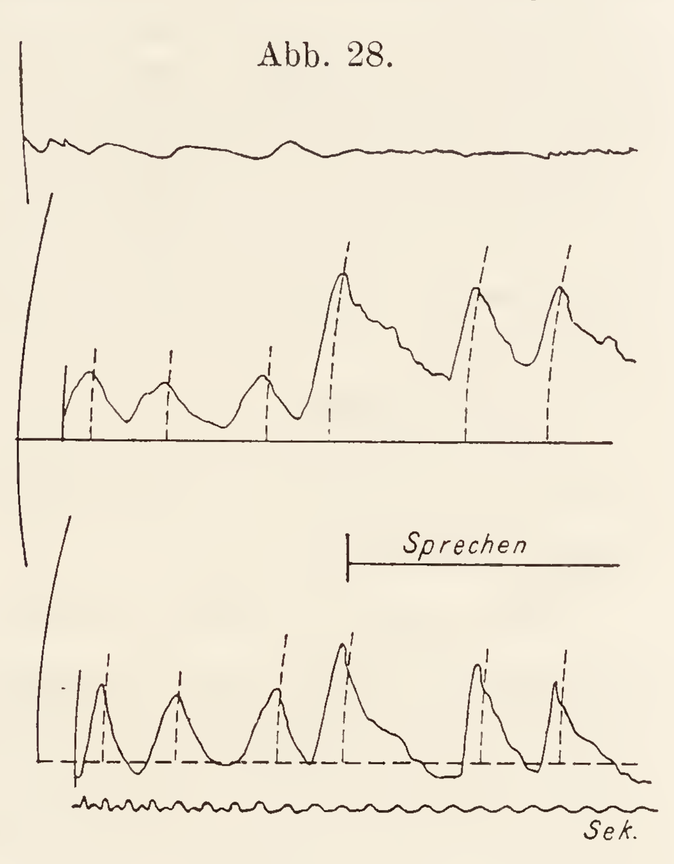
Die zweite Kurve gibt die Bewegung der Brust, die dritte die des Bauches an. Bei der Feststellung der synchronen Punkte, welche hier durch punktierte Kreisbögen kenntlich gemacht sind, zeigt sich, daß in der Ruheatmung die Bewegungen der Brust-

[1]) Angelo Mosso, Über die gegenseitigen Beziehungen der Bauch- und Brustatmung. Arch. f. Anat. u. Physiol. 1878, S. 441 u. f.

[2]) Wundts Philos. Stud. **18**, 1, 24 u. 57.

und Bauchatmung nahezu synchron sind. Das stimmt mit den Riegelschen Untersuchungen im Gegensatz zu den Mossoschen Resultaten überein. Sowie nun aber die Versuchsperson ein Gedicht spricht, ändert sich das Verhalten der Kurve, und es zeigt sich, daß entsprechend der oben angeführten Mossoschen Kurvenerklärung die thorakale Kurve überwiegend beeinflußt ist, denn sie steigt noch, während die abdominale Kurve bereits fällt. Dadurch ergibt sich während des Sprechens ein Asynchronismus der Kurve. Dieses Ergebnis konnte durch zahlreiche weitere Untersuchungen bestätigt werden.

Abb. 28.



Der Zeitwert des Asynchronismus ist allerdings oft nicht groß, in unserem Kurvenbeispiel war er, wie mit Hilfe der beigefügten Sekundenmarkierung feststellbar, nur etwa $^1/_5$ Sekunde. Erkennbar werden kann er oft nur bei genauer Ausmessung der Kurve, wobei die Bogenschreibung der Kapselhebel zu berücksichtigen ist. Unsere Abbildung zeigt, wie man zur Auswertung sich bogenförmiger Ordinaten bedienen muß. Es ist messend von den Kreisbögen auszugehen, welche man vor Beginn der Aufnahme durch Einwirkung auf die Schreibkapsel hat aufzeichnen lassen.

Nicht unwesentlich ist es, daß man derartige Kurven bei ganz unbeeinflußten Personen aufnimmt; denn der zu Untersuchende darf durchaus nicht wissen, was das Endziel der Untersuchung ist. Besonders Kunstsänger und Redner, bei denen man Untersuchungen vornimmt, darf man erst nach Aufnahme der Kurve von deren Bedeutung in Kenntnis setzen; sonst machen sie, auch wenn sie sich noch so große Mühe geben, störende Bewegungen, die das Untersuchungsergebnis unter Umständen so sehr beeinträchtigen können, daß es wertlos wird. Deswegen hat Gutzmann sen. besonders in der ersten Zeit, um das Gesetz der überwiegenden Beeinflussung der Brustatmung während der Sprechbewegung festzulegen, fast nur Kinder, die mit ihm näher bekannt und vertraut

waren, als Versuchsobjekte benutzt. Er hat es indes nicht versäumt, auch bei vielen Erwachsenen unter den nötigen Vorsichtsmaßregeln die Untersuchungen ebenfalls auszuführen, da ihm naturgemäß daran lag, auch bei Sprech- und Gesangskünstlern solche Kurven zu gewinnen und sie gleichsam als Idealbilder der normalen Atmungsbewegung darzustellen. Hier war der normale Asynchronismus der Brust- und Bauchbewegungen in ganz außerordentlichem Maße vorhanden und trat mit einer geradezu erstaunlichen Regelmäßigkeit auf. Aber nicht allein das: man sah, wie außerordentlich lang die Ausatmungsbewegungen, wie kurz die Einatmungsbewegungen andauerten, wie vorzüglich daher die eingeatmete Luft zum Gesang verwendet wurde.

Diese günstige Koordination der Bewegungen wird nur ganz allmählich erworben. Die Schreikurven des Säuglings zeigen noch völlige Inkoordination.

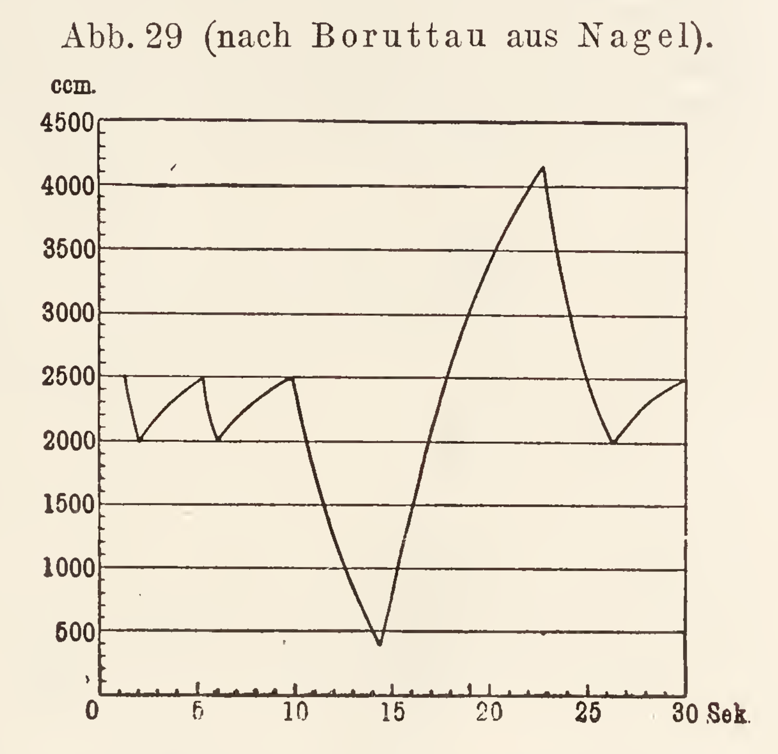
Eine neuere Arbeit von Clara Hoffmann beschäftigt sich gleichfalls mit dem Asynchronismus in der Phonationsatmung. Verfasserin kommt teilweise zu anderen Resultaten und will den Asynchronismus nicht als normal gelten lassen. Ein abschließendes Urteil wird aber wegen zahlenmäßig nicht ausreichenden Materials vermieden. Mir will es scheinen, als ob auch hier wieder die verschiedenen Verfahren der Untersuchung die verschiedenen Ergebnisse erzeugt haben.

Ganz kürzlich hat nun Schilling den von Gutzmann sen. festgestellten physiologischen Asynchronismus bestätigt. Er betont aber ausdrücklich, daß die Ergebnisse von Gutzmann sen. nur auf dem Vergleich von Bauchdeckenbewegung und Brustkorbbewegung beruhen. Seine Untersuchungen bestätigten zunächst die Gutzmannschen Beobachtungen, und erbringen einen neuen Beweis dafür durch direkte röntgenologische Messungen. Selbst unter Berücksichtigung der Tatsache, daß eine Gegenbewegung zwischen Zwerchfell und Bauchdecken, namentlich zu Beginn der Sprechausatmung, zu den physiologischen Erscheinungen gehört, ergab sich, daß auch beim Vergleich des zeitlichen Ineinandergreifens der äußeren Atembewegungen mit den röntgenologisch gemessenen Zwerchfellbewegungen der Asynchronismus noch schärfer in Erscheinung trat.

Es ist auch nicht unwesentlich, sich ein Bild davon zu machen, wie groß die Menge der in der Ruheatmung und der in der Sprechatmung bewegten Luft ist. In der Ruheatmung pflegen wir

ungefähr 500 ccm Luft bei der Ein- und Ausatmung hin und her zu schieben. Die Menge dieser Ruheatmungsluft im Vergleich zur tiefsten Einatmung und tiefsten Ausatmung gibt Abb. 29 sehr übersichtlich wieder. Zum Sprechatmen wird gewöhnlich tiefer eingeatmet als in der Ruhe, so daß oft 1000 ccm und darüber vor dem Sprechen eingenommen werden. Die Verwendung dieses größeren Luftvolumens zu der sehr langen Sprechausatmung ist bei den einzelnen Menschen außerordentlich verschieden. Es kann vorkommen, daß bei einem Sprechsatze schon im Beginn ein sehr großer Teil der eingeatmeten Menge verloren geht und der übrige Teil der Atemluft nun auf den gesamten noch zu sprechenden Satz verwendet wird, so daß die erste Hälfte des Satzes unter viel größerem Druck gesprochen wurde als die letzte. Andererseits gibt es Menschen, die von Hause aus eine gleichmäßige Verwendung der eingeatmeten Luftmenge vornehmen. Diese ungleichmäßige bzw. gleichmäßige Verwendung ist an den gewöhnlichen pneumographischen Kurven nicht mit Deutlichkeit zu erkennen, sehr wohl aber an einer Volumenkurve. Bei dem oben mit dem Gadschen Volumenmesser aufgenommenen Beispiel bleibt der Winkel der Volumenkurve mit dem wagerechten Nullstriche im ganzen Verlauf fast immer derselbe, es handelt sich also dort um eine sehr gleichmäßige Verwendung der eingeatmeten Luft; außerdem zeigt sich an jener Kurve, daß von der betreffenden Person zum Sprechen nicht wesentlich tiefer eingeatmet wurde als in der Ruhe. Dagegen erkennt man an den pneumographischen Kurven, wenn man sie mit der Volumenkurve vergleicht, an dem verschiedenen steilen Abfall, daß man derartige Kurven nicht zur Schätzung des verbrauchten Volumens benutzen kann. Bei den verschiedenen Versuchen von Gutzmann sen. zeigte sich bald die Notwendigkeit, einen Atemvolumschreiber zu haben, der mit möglichster Leichtigkeit dem Druck der ausgeatmeten Luft nachgab, und dessen Schreibung nicht im Bogen erfolgte, sondern senkrecht

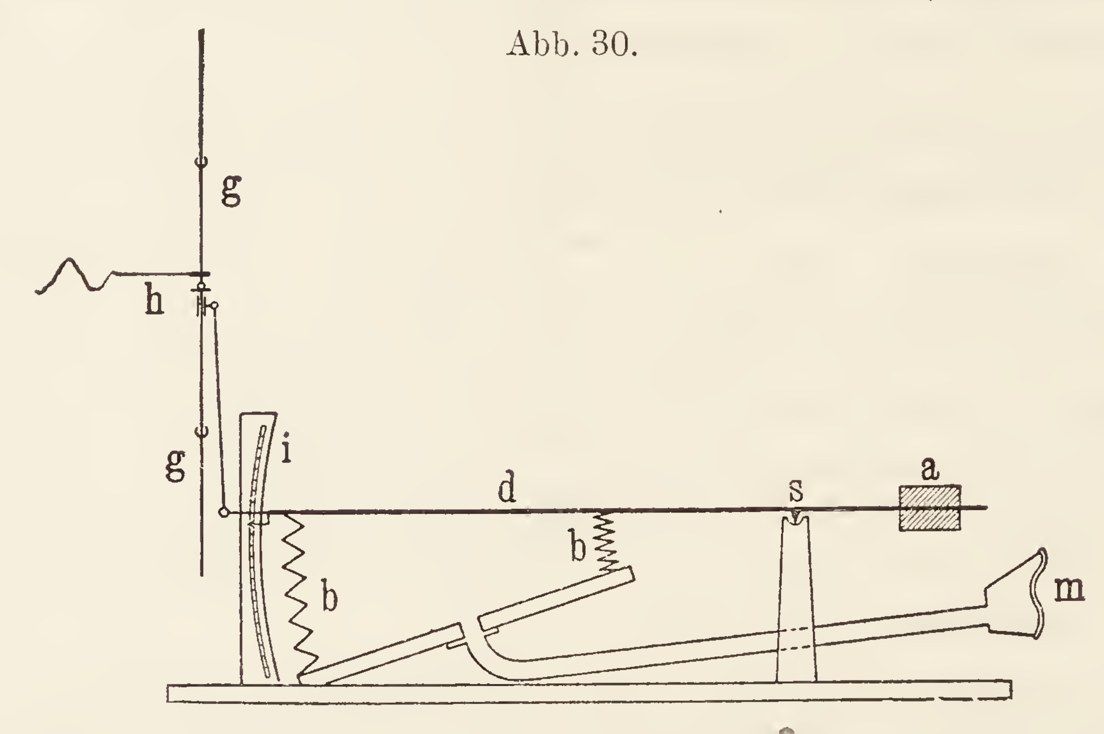
Abb. 29 (nach Boruttau aus Nagel).



war, so daß man durch die zur Abszisse gezogenen Ordinaten an jeder Stelle der Volumenkurve messen konnte, wieviel Luft zum Sprechen verbraucht wurde.

Herr Wethlo hat auf Veranlassung von Gutzmann sen. einen derartigen, sehr leicht ansprechenden Apparat erdacht und gebaut, dessen Einrichtung im wesentlichen darauf beruht, daß ein sehr leichter Blasebalg *b*, dessen obere Platte durch ein Gegengewicht *a* vollkommen im Gleichgewicht gehalten wird, einen senkrecht geführten Stab *g* nebst Schreibhebel *h* entsprechend in die Höhe hebt. Abb. 30 zeigt die nähere Einrichtung deutlich an. Eicht man die Ausschläge dieses Volumenmessers empirisch, so bedarf es bei der Ausmessung der Volumenkurve nur der sehr einfachen Feststellung der Ordi-

Abb. 30.



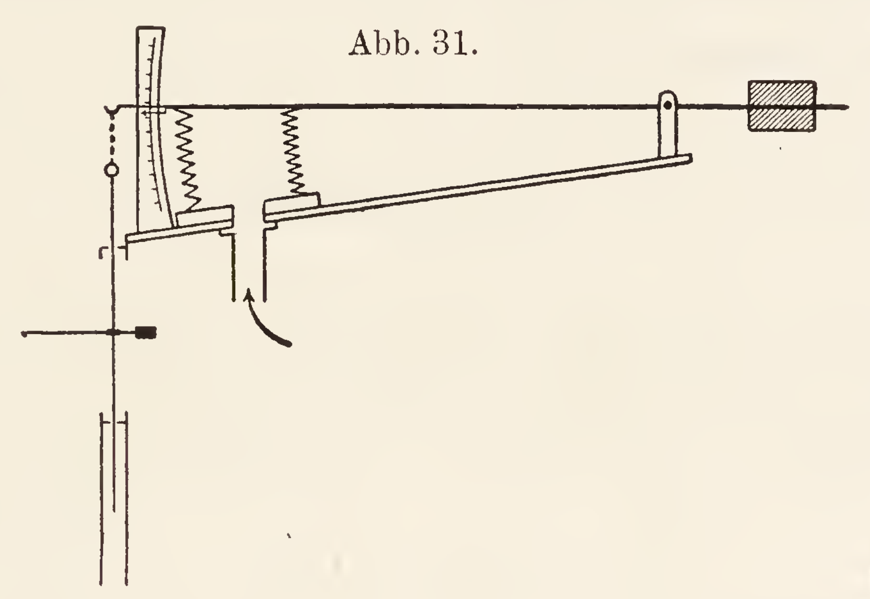
natenlängen, um sofort das verbrauchte Luftvolumen angeben zu können. Einen etwas größeren gleichen Apparat hat Schneider (Hamburg) hergestellt.

Ebenso hat Wethlo einen kleinen Volumenmesser (Abb. 31), dessen Ausschläge verhältnismäßig größer sind und daher größere Genauigkeit geben, für die Messung des Luftverbrauches bei einzelnen Lauten und verschiedenen Tonstärken hergestellt. Der kleine Apparat enthält etwa 150 ccm und wird an einem gewöhnlichen Stativ befestigt. Die damit erhaltenen Kurven sind überaus zierlich und — wie Kontrollversuche ergaben — sehr genau.

Die Eigenschwingungen des Gutzmann-Wethloschen Atomvolumschreibers hat Nadoleczny unter zwei verschiedenen Bedingungen bestimmt. Der Hebel des Apparats wurde zunächst bis zu einer Füllung mit 150 bis 300 ccm Luft gehoben und dann losgelassen, worauf der Balgen zusammensinken und die Luft aus dem offenen Zuleitungsrohr entweichen konnte. Hierbei sinkt der Hebel unter die Linie der Ruhelage und es erfolgt eine Nachschwingung, die ungefähr $^1/_3$ Sekunde dauert. Demnach würde das ganze System in diesem Falle eine Eigenschwingung von 3 Schwingungen pro Sekunde haben. Ganz anders aber verhält sich der teilweise mit Luft gefüllte Apparat in dem Zustand, wie er gewöhnlich verwendet wird. Füllt man ihn z. B. mit 300 ccm Luft und verschließt das Zuleitungsrohr luftdicht, so wird die Eigenschwingung durch die eingeschlossene

Luftmenge plus der im Zuleitungsrohr enthaltenen Luft verändert. Hängt man unter solchen Bedingungen ein Gewicht von 25 g am Führungshebel in der Mitte zwischen Balgen und Gegengewicht oder am vorderen Ende auf, und brennt man den Faden, der jenes Gewicht trägt, durch, so macht der Apparat viel schnellere Schwingungen, und zwar etwa 24 pro Sekunde bei obiger Füllung. Diese Eigenschwingungen treten während der Aufnahme bisweilen in die Erscheinung als kleine Wellen in der Kurve. Ferner können auch noch stehende Schwingungen Einfluß auf die Kurve haben, falls solche im abgeschlossenen luftgefüllten Raume auftreten. Die Kurven müssen schließlich noch zeitlich und förmlich durch die Trägheit des Apparats verändert werden, die eine Funktion der Massenverteilung des Systems ist und sich ebenfalls mit der Luftfüllung des Balgens ändert. Ihr Einfluß wird offenbar, wenn man hinter dem Mundstück ein kleines

Abb. 31.



Glasrohr in der Seitenwand des 160 cm langen Zuleitungsschlauches anbringt, das durch einen halb so langen Gummischlauch mit einer Mareyschen Kapsel verbunden ist. Schreibt man nunmehr die Atemvolumkurve und die Kurve dieser Kapsel senkrecht übereinander, so kann man beide gut vergleichen. Nimmt man so zwei Kurven eines kurzen Tons mit Glottisschlag von mäßiger Stärke auf, so zeichnet der Volumschreiber eine flache, nach einer geringen negativen Schwankung allmählich steigende Kurve auf, während die gleichzeitig von der Mareyschen Kapsel geschriebene Seitendruckkurve steiler und kürzer ist. Der aufsteigende Schenkel der Volumenkurve beginnt 0,04 Sekunden nach jenem der Kapselkurve. Den Höhepunkt erreicht jene gar erst 0,2 bis 0,1 Sekunden nach der Kapselkurve.

Anfangs benutzte Gutzmann sen. den nach Art eines Blasebalges gebauten, von ihm mit Schreibvorrichtung versehenen Matthieuschen Spirometer. Dieser ist aber bei weitem zu schwer beweglich. Ähnlich diesem Volumenmesser scheint der von Brodie[1]) angegebene zu sein. Sehr leichte registrierende Spirometer aus dünnem, ungeleimtem und paraffiniertem Papier sind von R. F. Fuchs[2]) und R. H. Kahn[3]) erdacht.

[1]) Journ. of physiol. 27, 477, 1902. — [2]) Lotos 1898. — [3]) Arch. f. Physiol. 1902, S. 31. Die letzten drei Angaben sind dem Artikel „Atembewegungen" von F. Schenk in Tigerstedts Handbuch der physiologischen Methodik 1908 entnommen.

Über die Geschwindigkeit und das Volumen der beim Sprechen bewegten Luft hat Zwaardemaker mittels besonderer Versuchsanordnung, wobei er sich eines nach Art des Pitotschen Röhrchens hergestellten Apparates bediente, Untersuchungen angestellt, über welche weiter unten berichtet werden wird.

3. Der Luftdruck in der Lunge.

Auf dem Gebiete der Druckverhältnisse innerhalb der Lunge bei normalen und pathologischen Atmungsvorgängen des Menschen bestehen noch mannigfache Lücken in unserer Kenntnis. Die Angaben stützen sich im wesentlichen auf Versuche von Aron und in neuerer Zeit von Roudet.

Bei einer Nachprüfung der Aronschen Angaben, die Gutzmann sen. und Loewy mit gleicher Versuchsanordnung (Wassermanometer) vornahmen, ergaben sich folgende Werte:

Tabelle 1. Subglottischer Druck.

Nr.	Datum	Bei der Einatmung	Bei der Ausatmung	Bemerkungen
1	17. II. 19	— 2 cm H_2O	+ 2 cm H_2O	Versuchsperson: August H. Posticuslähmung. Wegen Stridor tracheotomiert. Bei Körperruhe norm. Atmung ohne Dyspnöe.
		— 2	+ 2	
		usw. 13mal hintereinander		
2	18. II. 19	— 2	+ 2	
		— 3	+ 3	
		— 3	+ 2	
		— 2	+ 2	
		dann noch 8mal — 2 und + 2, sodann:		
3	18. II. 19	— 1,5	+ 1,5	
		— 2	+ 2	
		— 2	+ 2	
		— 1,75	+ 1,75	
		mehrere Male hintereinander		
4	21. II. 19	— 3	+ 2	
		— 2,8	+ 2,2	
		— 2,7	+ 2,2	
		— 3	+ 2,2	
		— 3	+ 2,2	
		— 2,8	+ 2,0	
		— 2,7	+ 2,0	
5	25. II. 19	— 1	+ 1	
		— 1	+ 1	
		— 1	+ 1	

Demnach schwanken die Werte zwischen 1 und 3 cm Wasser, das sind 9,73 — 2,19 mm Quecksilber für die Ein- und Ausatmung. Sie liegen also an der untersten Grenze der von Aron gefundenen. Arons höhere Werte sind durch Unruhe der Patienten beeinflußt.

Als Normalwerte bei vollkommen ruhiger Atmung wurden die von + 1 cm H_2O bei Aus- und — 1 cm H_2O bei Einatmung, das sind + 0,73 und — 0,73 mm Hg gefunden. Die Schwankungsbreite beträgt 1,5 mm Hg [1]).

Schon Harless [2]) kam in seiner Bearbeitung der „Stimme" in Wagners Handwörterbuch auf Grund von Untersuchungen an einem dem menschlichen Kehlkopf nachgebildeten Modell zu dem ganz gleichen Werte von 0,8 mm Hg. Ebenso gibt bereits Kramer [3]) an, daß bei Hunden und bei einem Pferde, bei denen er durch Einsetzen einer Kanüle mit seitenständigem Manometer in die Luftröhre den subglottischen Druck, bei freier Atmung durch das Maul, bestimmte, dieser ungefähr — 1 mm bei der Einatmung und + 2 bis + 3 mm Hg im Höchstfalle bei der Ausatmung betrage.

Der Zusammenhang zwischen den subglottischen Druckwerten und dem Atemvolumen wurde dadurch festgestellt, daß die Patienten zugleich durch eine Gasuhr atmeten. Es ergaben sich folgende Werte:

1. Normales Atemvolumen pro Minute 3,6 Liter. Druckwerte: — 3 cm H_2O bei Einatmung, + 3 cm H_2O bei Ausatmung.

2. Willkürlich gesteigertes Atomvolumen pro Minute 7,65 Liter: — 4 bis — 6 cm H_2O bei Einatmung, + 4 bis + 6 bei der Ausatmung.

3. Atemvolumen bei willkürlicher Steigerung auf 8,4 Liter pro Minute: — 4 bis — 7 cm H_2O bei Einatmung, + 5 bis + 8 bei Ausatmung.

4. Atemvolumen gesteigert auf 17,5 Liter pro Minute: — 7 bis — 12 cm H_2O bei Einatmung, + 12 cm bei Ausatmung. (Vgl. die Angaben von Hasslinger S. 37.)

Über die Beziehungen zwischen subglottischem Druck und phonischen Vorgängen liegen in der Literatur nur wenige Angaben vor. Die ältesten rühren von Cagniard Latour [4]) her, später mit

---

[1]) H_2O = Wasser, Hg = Quecksilber.

[2]) Handwörterbuch d. Physiologie **4**, 530. Braunschweig 1853.

[3]) Haesers Archiv **9**, 321, 1847.

[4]) Cagniard Latour, Compt. rend. Paris 1837; Ann. d. sc. natur. **7**, 180 und **8**, 319, 1837.

ihm übereinstimmende von Grützner[1]). Aus den letzten Werten geht hervor, daß bei gleichbleibender Stimmstärke die Druckwerte mit der Tonhöhe wachsen. Auch hat Roudet (a. a. O.) über diese Fragen einzelne Versuche ausgeführt.

Entsprechend den Befunden von Cagniard Latour, Grützner und Roudet nimmt auch nach Gutzmann und Loewy der subglottische Druck bei gleicher Tonhöhe für verschiedene Vokale mit der Steigerung der Stimmstärke beträchtlich zu. Zwischen leiser und lauter Stimmgebung finden wir Druckunterschiede wie 1 : 3, und zwar gleichmäßig bei allen Vokalen.

Zwischen den verschiedenen Vokalen treten Druckunterschiede bei gleicher Stimmstärke in dem Sinne auf, daß „*a*“ den geringsten Druck aufweist, „*u*“ und „*i*“ den stärksten. Die anderen Vokale zeigen Zwischenwerte. Das erklärt sich daraus, daß für „*a*“ nur die Stimmritzenenge Widerstand gibt, während bei allen übrigen Vokalen dazu noch die Engen im Artikulationsrohr kommen.

Für die gleiche Stimmstärke bei verschiedener Tonhöhe wurde gleichfalls Zunahme des Druckes mit Zunahme der Tonhöhe gefunden.

Dieses Ergebnis bleibt für alle Tonstärken das gleiche. Die Schwierigkeit, die Tonstärke objektiv für verschiedene Tonhöhen gleichzumachen, liegt einerseits darin begründet, daß wir kein objektives Maß für die Tonstärke besitzen. Wir sind nur auf unser Ohr angewiesen. Ferner darin, daß z. B. beim Pianosingen die Spannung mit den höheren Tönen wachsen muß, während die Anblasestärke entsprechend nachläßt (siehe Joh. Müller, Über die Kompensation der physikalischen Kräfte am menschlichen Kehlkopfe 1832). Wir können uns deshalb zur Feststellung der Stärke auf die Muskelempfindungen nicht verlassen. (Die abweichenden Feststellungen Wethlos auf Grund seiner Versuche mit Polsterpfeifen werden im nächsten Kapitel besprochen.)

Für die Höhe der absoluten Werte ist es nicht gleichgültig, ob mit Falsett- oder Bruststimme der Ton erzeugt wird. Bei ersterem sind die Druckwerte niedriger als bei der entsprechenden Tonhöhe durch Bruststimme, was besonders an der Grenze zwischen Brust und Falsett auffällt. Der Grund dafür, daß der subglottische Druck bei der Falsettstimme niedriger als bei der Bruststimme ist, liegt wohl darin, daß bei der Bruststimme jede Schwingung von

---

[1]) Grützner, Hermanns Handb. d. Physiol. **1**, 2 (Leipzig 1879).

der folgenden durch den absoluten Schluß der Stimmlippen getrennt wird, während das bei der Falsettstimme nicht der Fall ist, wie das die stroboskopischen Untersuchungen Museholds, Réthis u. a. gelehrt haben, was jedoch Tonndorf neuerdings bestreitet. Der zu überwindende Widerstand ist daher bei der Bruststimme größer und deshalb der subglottische Druck auch größer als beim Falsett.

Die Konsonanten haben weit höhere subglottische Druckwerte als die Vokale, es bestehen aber zum Teil beträchtliche Unterschiede zwischen den verschiedenen Konsonanten und Konsonantenklassen.

Was zunächst die Verschlußlaute *b*, *d*, *g* anbetrifft, so sind die subglottischen Druckwerte bei dem als Blählaut gesprochenen *b* erheblich höher als bei *d* und *g*. Das erklärt sich daraus, daß der Blählaut *b* länger gehalten werden kann, weil sein Blähraum erheblich größer ist, so daß der Druck Zeit hat, höher anzusteigen.

Die subglottischen Druckwerte der tönenden oder stimmhaften Dauerlaute bei leiser Stimmgebung liegen weit niedriger als bei den Verschlußlauten.

Ein Vergleich der stimmhaften mit den stimmlosen Dauerlauten läßt erkennen, daß erstere mit höheren subglottischen Druckwerten einhergehen als letztere. Aus der beigegebenen Tabelle 2 lassen sich die gefundenen Werte sowohl wie Anordnung und Aufbau der Versuche leicht ersehen.

Hasslinger hat Bedenken gegen die Versuchsanordnung bei den bisherigen Untersuchungen über den subglottischen Druck. Er meint, man dürfe, um einwandfreie Werte zu erlangen, nur bei Tracheotomierten mit völlig normal arbeitender Glottis messen. Auch müsse man Rücksicht nehmen auf die künstliche Verengerung des Tracheallumens durch die Kanüle. Er selbst erhält unter Vermeidung dieser Fehlerquellen Werte, die etwas unter den von Gutzmann sen. und Loewy angegebenen liegen, nämlich bei ruhiger Einatmung — 6 bis — 9 mm Wasser, bei ruhiger Ausatmung + 5 bis + 9 mm Wasser, bei rascherer Atmung — 36 bis — 38 bzw. + 34 bis + 38 mm Wasser. Der Druck steigt während des Schluckens um 25 bis 82 mm Wasser an. Beim Husten erzeugen Gesunde Drucke bis zu 384 mm Wasser, beim Räuspern etwa ein Drittel des Hustendrucks, beim Niesen steigt der Druck bis rund 500 mm Wasser. Ähnlich wie Schilling weist auch Hasslinger auf die Druckschwankungen hin, die durch plötzliche

Tabelle 2.
Vergleichung der subglottischen Druckwerte bei Vokal- und Konsonantenbildung.

Tonhöhe	Tonstärke	Subglottischer Druck in cm H_2O		
A = 108 Schw.	leise	*a* —	**b** —	*a*
		9	18	9
			18	
	lauter	13	20	
			22	13
			22	
d = 144 Schw.	leise	10	20	
	laut	13	24	
		13	24	
A = 108 Schw.		*a* —	**d** —	*a*
	leise	8	14	
		8	13,5	
	lauter	10	17	
		10	17	
d = 144 Schw.	leise	10	13	
		10	14	
	mäßig laut	10	18	
		12	19	
A = 108 Schw.		*a* —	**g** —	*a*
	mittellaut	10	16	
	laut	10	14	
		12	18	
		A —	**mm** —	*e*
	mäßig laut		11	
	lauter		14	
			14	
d = 144 Schw.	laut		20	
			20	
	leise		9,5	
		A —	**nn** —	*a*
A = 108 Schw.	mäßig laut	13	14	
d = 144 Schw.	leise		9,5	
			11,0	
			9,5	
	laut		20	
			18	

Tabelle 2 (Fortsetzung).

Tonhöhe	Tonstärke	Subglottischer Druck in cm H_2O		
d = 144 Schw.		*E* —	**v** —	*a*
	leise	8	12	8
	mittellaut	12	16	12
	laut	14	20	
		14	20	
d = 144 Schw.		*a* —	**s** —	*en*
	leise	8	12	
	lauter	12	16	
	laut	17	22	
d = 144 Schw.		(*m*) *a* —	—	**sch** (*ine*)
	leise	9		8
	lauter	12		10
	laut	14		12
d = 144 Schw.		*E* —	**f** —	*eu*
	leise	9	11	
	mittellaut	10	11	
	laut	16	17,5	
d = 144 Schw.		*a* —	**ss** —	*en*
	leise	8	10	
	laut	13	15	
		14	16	
		18	20	
d = 144 Schw.		(*blam*) *a* —	**g** —	*e*
	leise	8	7	13
	laut	13	12	14
	laut	16	16	18

und starke Sinneseindrücke taktiler, optischer oder akustischer Art entstehen. Psychische Einflüsse stören ebenfalls, aber nicht so ausgiebig.

4. Der Luftverbrauch.

Über das Verhältnis der ausgeatmeten Luftmengen zu dem aufgewendeten subglottischen Drucke geben am besten die folgenden Tabellen Auskunft.

Mit steigender Stärke der Stimme steigen sowohl der subglottische Druck wie das Atemvolumen, aber die Steigerungen beider entsprechen sich nicht. Aus den

Werten der Tabelle 3 ergibt sich, daß bei Steigerung der Stimmstärke der Druck stärker wächst als die ausgeatmete Luftmenge, so daß bei Berechnung auf die Druckeinheit von 1 cm bei leisem Singen höhere Atemvolumina verbraucht werden als bei lauter Stimme trotz ihrer höheren subglottischen Druckwerte.

Tabelle 3.

Verhältnis von subglottischem Druck zu Atemvolumen.

Vokal und Tonhöhe	Stimmstärke	Subgl. Druck cm H_2O	Volumen ccm	Volumen für das cm Druck	Dauer in Sek.
u auf *d* = 144 Schw.	leise	8	470	58,75	5
	mittelstark	16	700	43,75	5
	laut	22	780	35,45	5
	leise	10	450	45,00	5
	laut	23	825	36,00	5

Die Erklärung liegt darin, daß der Widerstand der bei leiser Stimme weniger zusammengepreßten Stimmlippen unter normalen Verhältnissen geringer ist.

Die Versuchsperson war gesanglich ungeübt. Unter diesen Umständen war es nicht zu verwundern, daß die Stimmgebung bei den Versuchen nicht immer gleichartig erfolgte. Es ist auch nicht zu erwarten, daß die soeben besprochenen Druck- und Volumenverhältnisse stets in gleicher Weise klar zutage treten; denn schon eine geringe Indisposition, d. h. Veränderungen an den Stimmlippenrändern sind imstande, Schließkraft und Schwingungsfähigkeit selbst bei geübten Sängern wesentlich zu verändern. Dementsprechend sehen wir bei einem zweiten Versuch an derselben Person (vgl. Tabelle 4) zwar auch das Ansteigen von Druck und Atemvolumen mit der Stimmstärke, aber in diesem Falle nimmt das Volumen mehr zu als der Druck, so daß für die Druckeinheit von 1 cm bei lauter Stimme mehr ausgeatmet wird als bei leiser.

Wie sehr derartige Verhältnisse die Versuchsergebnisse beeinflussen können, geht auch aus einer Erfahrung von Grützner hervor. Dieser fand, daß die subglottischen Druckwerte eines Kranken sich ganz abweichend von früheren Versuchen darstellten, als seine Versuchsperson an Kehlkopfkatarrh erkrankt war. Der subglottische Druck war jetzt beim Sprechen und Singen bedeutend niedriger als in der Norm: „Offenbar hatte der gegenseitige Ver-

schluß der Stimmbänder bedeutend gelitten, und es entwich nebenher immer noch Luft ...“

Tabelle 4. Subglottischer Druck und Atemvolumen.

Vokal und Tonhöhe	Stimmstärke	Subgl. Druck cm H_2O	Volumen ccm	Volumen für das cm Druck	Dauer in Sek.
u auf *d* = 144 Schw.	leise	9	350	39	5
	laut	16	880	55	5
	lauter	19	1350	70	5
	flüsternd (mit etwas Stimme)	4	450	112,5	5
	flüsternd	3	1210	403	5
	flüsternd	3	1340	335	5
a auf *d* = 144 Schw.	mittellaut	15	250	16,6	5
u „ *d* = 144 „	„	15	420	28	5
a „ *d* = 144 „	„	14	250	18,0	5
u „ *d* = 144 „	„	11	390	35,5	5
u „ *d* = 144 „	„	12	520	43,3	5

Das bei gleicher Stimmstärke und gleicher Tonhöhe ausgeatmete Luftvolumen hängt aber auch noch erheblich von dem gesungenen Vokal, also der Form des Ansatzrohres, ab. Am deutlichsten sind diese Unterschiede zwischen den Vokalen „*a*“ und „*u*“. Bei letzterem beträgt, selbst bei geringerem subglottischen Drucke, die ausgeatmete Luftmenge bei weitem mehr als beim „*a*“, und auf gleichen Druck berechnet (1 cm), stellt sie sich auf das Doppelte und mehr der bei „*a*“ ausgeatmeten.

Die Tabelle 5 zeigt bei subjektiv möglichst gleicher Stimmstärke die Menge der ausgeatmeten Luft bei verschiedenen Vokalen und verschiedenen hohen Tönen.

Vielleicht würde eine Verbindung der Endoskopie des Kehlkopfes mit gleichzeitiger stroboskopischer Beobachtung über die Verhältnisse zwischen laut und leise, die zwar tatsächlich vorliegen, aber bisher noch nicht genügend erklärt sind, Aufschluß geben.

Schilling hat ähnliche Versuche gemacht, dabei aber gleichzeitig mit Pneumographen die äußeren Atembewegungen beim Atmen und Sprechen mitaufgezeichnet. Er findet, daß die Druckhöhe der Vokale nicht fest bestimmbar sei, sondern von einer ganzen Reihe von äußeren Einflüssen abhänge. Als solche Einflüsse nennt

Schilling: Stimmeinsatz, Tonhöhe, Register, ob geflüstert, gesprochen oder gesungen, in welcher Reihenfolge und Lautverbindung und mit welcher psychologischen Einstellung der Vokal hervorgebracht wurde. Weniger zahlreich sind diese Einflüsse bei der Bildung der Konsonanten, bei denen namentlich die Lautverbindung von merklicher Wirkung sei.

Tabelle 5. Luftverbrauch beim Singen verschiedener Vokale.

Vokal und Tonhöhe	Stimmstärke	Luftverbrauch ccm	Dauer in Sek.
a auf $d = 144$ Schw.	mittellaut	800, 600, 840, 870	10
	laut	1200, 1100, 1200	10
o „ $d = 144$ „	mittellaut	700, 800, 770	10
	laut	940, 1070	10
u „ $d = 144$ „	mittellaut	600, 660, 780, 700, 610	10
	laut	1000	10
a auf $a = 216$ Schw.	leise	1190, 970, 1000, 1130	10
o „ $a = 216$ „	„	760, 700, 630, 680	10
u „ $a = 216$ „	„	470, 370, 360, 330	10
a „ $a = 216$ „	laut	690, 780, 780, 820	10
o „ $a = 216$ „	„	640, 200, 470, 300, 420	10
u „ $a = 216$ „	„	940, 1070, 1200	10
a „ $d = 288$ „	mäßig laut	1950, 1630, 1720	10
o „ $d = 288$ „	„ „	940, 1050, 950	10
u „ $d = 288$ „	„ „	820, 590, 460, 580	10
a „ $d = 288$ „	laut	1000, 1100, 950, 1040	10
o „ $d = 288$ „	„	1080, 1200, 1080, 850, 1000	10
u „ $d = 288$ „	„	1250, 1300, 1390	10

Bei Versuchen, einen Ton möglichst lange zu halten, fiel Gutzmann und Loewy auf, daß die bis zum Schluß ausgeatmeten Luftmengen nicht denjenigen entsprachen, die bis zur vollkommen willkürlichen Entleerung der Lungen hätte ausgeatmet und in Stimme umgesetzt werden können. Besonders wenn vor der Stimmgebung maximal eingeatmet wurde, blieben die Ausatmungswerte mehr oder weniger erheblich hinter der Vitalkapazität zurück, d. h. hinter denjenigen Werten, die bis zur größtmöglichsten Ausatmung tonlos hätten ausgeatmet werden können. Als Beweis für diese Beobachtung dienen die in der folgenden Tabelle 6 zusammengestellten Werte.

Sie sind an Gutzmann sen. gewonnen, dessen Vitalkapazität zu 5,2 Liter ermittelt wurde. Trotzdem erreichen die Luftmengen bei der tönenden Ausatmung höchstens 3,8 Liter. Oft bleiben sie noch erheblich hinter diesem Werte zurück.

Tabelle 6.
Mögliche Dauer der Tongebung nach tiefster Einatmung.

Vokal und Tonhöhe	Dauer in Sekunden	Luftmenge in ccm	Luftmenge pro Sek. ccm
a auf *d* = 144 Schw. . . .	37	2400	65?
a „ *d* = 144 „ . . .	40	3450	86
a „ *d* = 144 „ . . .	37	3700	100
o „ *d* = 144 „ . . .	44	3600	82
o „ *d* = 144 „ . . .	50	3050	61
o „ *d* = 144 „ . . .	49	3500	72
u „ *d* = 144 „ . . .	40	3800	95
u „ *d* = 144 „ . . .	45	3000	72
u „ *d* = 144 „ . . .	53	3100	60
u „ *d* = 144 „ . . .	45	3700	82

Die vorstehenden Beobachtungen stehen im Widerspruch mit allgemeinen Annahmen, daß der Ton erst erlischt, wenn keine willkürlich entleerbare Luft mehr in den Lungen enthalten ist. Es müssen also andere Ursachen für diesen vorzeitigen Schluß der Tongebung in Anspruch genommen werden.

Zur weiteren Aufklärung der hier vorliegenden Verhältnisse wurde von Gutzmann sen. und Loewy der Kohlensäuregehalt der Alveolenluft am Schlusse der tönenden Ausatmung bestimmt. Dicht hinter dem Mundstück wurde ein enges Seitenrohr von dem das Mundstück mit der Gasuhr verbindenden Schlauche abgezweigt. Mit diesem Seitenrohr konnte ein Gassammelrohr verbunden werden, das etwa 40 ccm Gas faßte und zunächst mit angesäuertem Wasser gefüllt war. Entweder nach einer bestimmten Dauer der Tongebung oder sobald die Versuchsperson merkte, daß sie den gesungenen Ton nicht länger halten konnte, wurde auf ein entsprechendes Zeichen das Sammelrohr geöffnet, das saure Wasser zum Abfließen gebracht, während die letzten Anteile der tönenden Ausatmungsluft in das Gassammelrohr eintraten. Nach Verschluß des Sammelrohres wurde dieses nach bekannten Methoden in einen Hempelschen Analysenapparat übergeführt und in diesem der CO_2-Gehalt [1]) bestimmt. Zugleich wurde die gesamte, während

[1]) CO_2 = Kohlensäure.

der Tongebung ausgeatmete Luftmenge durch die Gasuhr geleitet und so gemessen. Die Ergebnisse befinden sich in der folgenden Tabelle 7.

Der Kohlensäuregehalt der Alveolenluft macht 4,0 bis 5,5 % aus, das sind Werte, die sich ausbilden, wenn die CO_2-Spannung des venösen Lungenarterienblutes durch den Respirationsprozeß sich mit der eingeatmeten Luft ausgleicht.

Mit der so zustande gekommenen Kohlensäurespannung tritt das Lungenblut in das linke Herz ein. Die genannten Werte entsprechen also der Kohlensäurespannung des Arterienblutes. Ihnen gegenüber betragen die Kohlensäurespannungen des Venenblutes 5 bis 7 %.

Daß wirklich der Kohlensäurereiz und nicht der Mangel an Luftvorrat in den Lungen die Ursache zur Anregung der Einatmung ist, ergibt sich eindeutig aus der Reihe von Versuchen, in denen neben der während des Singens ausgeatmeten Luft zugleich auch die vor Beginn eingeatmete Luftmenge durch eine zweite Gasuhr gemessen wurde.

Die Versuche beweisen also, daß bei den drei untersuchten Personen die Möglichkeit, die Tongebung fortzusetzen, nicht aufgehoben wurde durch die Erschöpfung des Luftvorrates in der Lunge, vielmehr durch das Ansteigen der Kohlensäurespannung im Blute bis zu Werten, die eine neue Einatmung erzwangen.

Diese Ergebnisse dürften nicht allgemein zutreffen, vielmehr wohl im Zusammenhang stehen mit einer zweckmäßigen Atemtechnik. Sie sind deshalb z. B. bei Kunstsängern wohl die normalen. Bei Personen, die in der Kunst der Atemführung beim Singen wenig oder nicht bewandert sind und deshalb einen höheren Atemverbrauch beim Singen haben, viel „wilde Luft" dabei hervorbringen, dürfte das Ende der Tongebung eher in einer Erschöpfung der in den Lungen vorrätigen Luft gegeben sein. Dahin gehören die meisten „Natursänger".

Die Tabelle 7 gibt noch zahlenmäßige Hinweise auf die Bedeutung der Lungenkapazität für die Ausdauer beim Singen.

Die Wirkung derartig hoher subglottischer Druckwerte auf den Kreislauf kann leicht beobachtet werden unter Bedingungen, zu denen häufig Gelegenheit gegeben ist. So läßt sich ohne weiteres beweisen, daß beim schreienden Sprechen von Worten der Puls allmählich, nach 5 bis 10 Sekunden, klein wird. Bei Steigerung des positiven Druckes im Brustkorb mittels Ausatmung durch ein verengtes Rohr und durch laute Tongebung ergab sich folgendes Verhalten des Pulses:

Tabelle 7. Alveoläre Kohlensäurespannung bei der Tongebung.

Versuchsperson	Tonhöhe	Dauer der Tongebung Sek.	Menge der während der Tongebung ausgeatmeten Luft ccm	CO_2-Gehalt der Alveolenluft %	Bemerkungen
1. G.	$d = 144$	16	840	5	Tongebung beginnt nach normaler Einatmung.
2. G.	$d = 144$	12	530	4	
3. G.	$d = 144$	15	490	5,04	Beginn nach tiefer Einatmung (2030 ccm).
4. G.	$d = 144$	12	770	4,00	Beginn nach tiefer Einatmung (1450 ccm).
5. G.	$d = 144$	24	1200	6,40	Bei ruhiger Atmung alveol. Kohlensäurespannung 4,5 %. Vor Beginn der Tongebung ruhige, normale Einatmung. Singen zum Schluß anstrengend mit aktiver Ausatmung.
6. G.	$d = 144$	25	1200	5,60	Ruhige Einatmung vor Beginn.
7. G.	$d = 144$	24	1700	6,10	Wie bei 6. Zum Schluß Singen schwierig. Bedürfnis z. Einatmen.
8. G.	$d = 144$	23	2100	5,90	Wie Versuch 7.
9. G.	$d = 144$	23	2200	5,20	Maximale Einatmung vor Beginn des Singens. In Versuch 9 ist das Singen weniger angestrengt als in 5 bis 7, Gefühl der Atemnot geringer. Keine aktive Ausatmung.
10. G.	$d = 144$	25	2300	4,80	Nach maximaler Einatmung. Keine Dyspnöe und kein Bedürfnis, den Ton zu enden.
11. G.	$d = 144$	33	1700	5,34	Maximale Einatmung. Zum Schluß Singen weniger leicht als in 10. Beginnender Luftmangel.
12. G.	$d = 144$	48	2800	6,20	Nach maximaler Einatmung. Singen so lange, wie trotz eintretender Atemnot möglich.
13. G.	$d = 144$	45	?	6,60	Wie bei 12.
14. G.	$d = 144$	45	700	6,70	Einatmung maximal 3400 ccm; dann Singen solange möglich.
15. G.	$d = 144$	48	1300	6,60	Einatmung maximal 3420 ccm. Singen solange möglich.
16. L.	$d = 144$	28	1900	6,60	Singen länger unmöglich! Vor Beginn maximale Einatmung.
17. L.	$d = 144$	28	—	6,40	Wie 16. Auch hier Unfähigkeit, länger zu singen.
18. L.	$d = 144$	28	2250	7,00	Atmet max. ein 2950 ccm; dann Singen solange überhaupt mögl.
19. L.	$d = 144$	30	1760	7,20	Atmet maximal ein 3350 ccm; dann wie 18.
20. H. J.	$d = 144$	30	2900	5,70	Zuvor eingeatmet 2600 ccm. Singen solange als mögl. Ton stark.
21. H. J.	$d = 144$	38	2400	6,16	Zuvor eingeatmet 3860 ccm, sonst wie 20.
22. G.	flüsternd	28	3950	5,80	Nach max. Einatmung 3750 ccm, bis zum mögl. Ende gesungen.
23. H. J.	„	31	—	6,80	Wie 22.

Tabelle 8. Verhalten des Pulses bei Atmung gegen Widerstand.

Versuchsperson	Intrapulm. Druck cm H_2O	Verhalten des Pulses	Bemerkungen	Pulsfrequenz in 10 Sekunden a) vor, b) während, c) nach der Drucksteigerung		
				a	b	c
L.	12	Wird allmählich klein	Von vornherein Gefühl von Druck auf der Brust			
L.	11,5–12	Nach 9″ Puls klein				
L.	11,5–17	Nach 20″ Puls klein				
L.	16	Nach 20″ klein				
L.	11	Nach 11″ klein				
G.	12–13	Klein nach 8″	Nach Freigabe der Atmung Puls sofort groß und beschleunigt			
G.	12	Klein nach 8″				
G.	11–13	Puls fast unfühlbar nach 8″				
G.	12–13	Sehr klein nach 5″				
G.	13	Wird bald klein		12	13	13
G.	12	Fadenförmig nach 8″		12	13	13
L.	12			12	12	14
L.	13–14			12	13–14	14
L.	13			12	12	14

Bei einer zweiten Versuchsreihe wird der Vokal *u* sehr laut in ein Rohr gesprochen, das in einem Manometer endete. Dabei wurden Druckwerte von 18 bis 26 cm H_2O erzielt, und bei diesen Werten konnte ein Verschwinden des Pulses festgestellt werden.

Dabei gibt aber nicht die Leeratmung der Lunge den Reiz zu neuer Einatmung ab, und auch die intraalveolare Kohlensäureansammlung darf hierbei nicht als Maßstab für die Höhe des Kohlensäurereizes des Blutes genommen werden. Aus nebenstehender Tabelle 9 ist der Beweis zu entnehmen dafür, daß bei der hier gewählten Form der „Kompressionsdyspnöe“ Besonderheiten vorliegen müssen, die von der sonst zur Dyspnöe (Luftmangel) führenden abweichen. Und zwar sind es die CO_2-Prozentwerte der Alveolenluft, die ein eigentümliches Verhalten zeigen.

Alle neun Werte liegen nämlich auf dem niedrigen Stand, der sich im arteriellen Blute findet. Maßgebend für den Einatmungszwang ist aber nicht der CO_2-Gehalt des Alveolenblutes, sondern die Kohlensäurespannung desjenigen Blutes, welches das Atemzentrum durchströmt. Dort wird der Reiz zur neuen Einatmung ausgelöst. Gerade der starke intrathorakale Druck, der durch Zusammendrücken der Gefäße selbst den Puls aufzuheben imstande ist, läßt das Blut langsamer durch die Gewebe strömen, und durch

die lange Dauer der Kreislaufbehinderung wird das Blut dauernd venöser. Bei langdauerndem lauten Sprechen oder Schreien haben wir infolge des Zusammengedrücktseins der großen intrathorakalen Venenstämme, also an verschiedenen Stellen des Körpers gleichzeitig verschiedene CO_2-Werte des Blutes.

Tabelle 9.

Versuchsperson	Tätigkeit	Alveolarer CO_2-Gehalt am Schluß einer Ausatmung %	Ausatmungsfrequenz pro Minute	Atemvolumen ccm	Bemerkungen
L.	Lautes Lesen durch 50″	4,27	10		
L.	45″	4,14	9		
G.	60″	5,02			G. hat nicht das Gefühl, als ob die Atemluft in der Lunge erschöpft wäre.
G.	60″	4,85			
G.	Lautes *u* bis Zwang zur Einatmung, Dauer 15″	4,30		3900	Nach maximaler Einatmung. Kein Gefühl, als ob alle Luft aus der Lunge ausgeatmet wäre.
G.	Dauer 20″	4,75		3500	
L.	Dauer 11″	4,30		2500	
G.	Ausatmung durch enges Rohr bis Zwang zur Einatmung, Dauer 10″	4,50		1000	Vorher größtmögliche Aus- und Einatmung.
G.	Dasselbe	4,80		900	

Die Anwendung dieser Ergebnisse auf pathologische Verhältnisse, Verengerungen im Kehlkopf und in der Luftröhre, überhaupt allgemein auf die Fälle von sogenannter „exspiratorischer Dyspnöe" (erschwerter Ausatmung) ist zur Erklärung der Wirkung des Luftröhrenschnittes in entsprechenden Fällen mit heranzuziehen.

Loewy und Schroetter haben den Energieverbrauch bei verschiedenen musikalischen Betätigungen miteinander verglichen. Untersucht wurden Gesang, Pfeifen, Klavier, Violine, Cello, Kontrabaß, Trompete, Posaune, Schlagwerk und die entsprechenden Erscheinungen bei der Tätigkeit des Kapellmeisters. Die Ergebnisse stimmen gut mit den oben angegebenen von Gutzmann sen. und Loewy überein. Ähnliche Ergebnisse wurden bei den Blasinstrumenten gefunden. Auch beim Instrumentenspiel mit mäßiger Anforderung ergaben sich ungefähr dieselben

Zahlen. Dagegen übertrafen die erreichbaren Höchstwerte hierbei wesentlich jene beim Gesange. Und hier wieder sind es Klavier und Violoncell, die mehr Energie verbrauchen, als Geige und Kontrabaß. Letzterer dann, wenn er als Begleitinstrument verwandt wird. Pauke und Trommel verbrauchen Energien von ungewöhnlichem Ausmaße (Steigerungen um mehr als 300 %). Stellt man diese Beschäftigungen in Vergleich zu beruflicher bzw. handwerksmäßiger Tätigkeit, und bezeichnet man als „Leichtarbeit" einen Arbeitsaufwand bis zu 60 Kalorien in der Stunde, so würden Sprechen und Singen noch zur „Leichtarbeit" gerechnet werden müssen; ebenso die untersuchte Blasmusik. Streichinstrumente dagegen erfordern häufig Leistungen, die einer beträchtlichen „Schwerarbeit" entsprechen. Beim Kapellmeister unterliegen die Ergebnisse starken Schwankungen von geringsten bis zu allerhöchsten Werten, je nach dem Charakter des Tonwerkes und der psychischen Einstellung des betreffenden Dirigenten.

Schilling hat den Blutdruck und die Pulskurve beim „gestauten" und beim gewöhnlichen Singen miteinander verglichen und dabei regelmäßig eine Erhöhung des Blutdruckes — in höherem Grade beim gestauten — in geringerem Maße beim ungestauten Singen gefunden. Er dehnte diese Versuche auch auf das Sprechen aus. Dabei ergaben sich aber, bei 30 Versuchspersonen, teils Blutdrukerhöhung, teils Blutdrucksenkung. Er führt diese widerspruchsvollen Ergebnisse auf zwei Ursachen zurück. Einmal seien die mechanischen Verhältnisse des intrabronchialen Druckes durchaus verschieden, dann aber sei neben diesem Druckzentrum noch ein Zweites im Abdomen vorhanden. Hergestellt wird es beim Stauen, wo mit einer verstärkten Ausatmungsanstrengung von Zwerchfell und Bauchdecken eine maximale Einatmungsstellung des Brustkorbes verbunden sei. Blutdruckerhöhung ergibt sich demnach beim Sprechen in Staustellung, Blutdrucksenkung beim Sprechen in Einatmungsstellung. Bei ersterer bleibt die Pulsamplitude annähernd gleich, bei letzterer erfolgt meist eine Vergrößerung der Pulsamplitude.

In der Valsalvastellung, Ausatmungsanstrengung nach tiefer Einatmung bei geschlossener Stimmritze, findet man Herabsetzung des systolischen Blutdrucks, Erhöhung des diastolischen Blutdrucks und Verkleinerung der Pulsamplitude.

Das pulsatorische Tremolo der Singstimme.

In sorgfältig aufgenommenen laryngographischen und pneumographischen Kurven finden sich bekanntlich rhythmisch wiederkehrende Wellen: die Erscheinungen des Pulses, den alle empfindlichen Apparate wiedergeben. Bei verlangsamter Ausatmung, besonders im Flüstern (Gutzmann sen.), werden sie deutlicher. An beiden laryngographischen Kurven läßt sich der Puls bei genauer Einstellung des Apparats neben dem gleichzeitig aufgenommenen Carotis- (oder Radialis-) Puls unschwer erkennen. In der Kurve der Horizontalschreibung erscheint er sogar mitunter als doppelte Welle, entsprechend dem Gipfel und der dikroten

Erhebung der Carotispulskurve. An der Vertikalschreibung ist er weniger oder fast gar nicht ausgeprägt, da hier keine direkte Übertragung der Bewegung statt hat. Nach Toshihiko Fujita beeinflußt die rhythmische Schwankung, hervorgerufen durch die von Buisson und von Voit zuerst nachgewiesene kardiopneumatische Bewegung, sowohl die Stimmstärke als auch angeblich die Stimmhöhe. Sie ist von Fujita an Schwankungen des Seitendrucks von Stimmkurven gemessen worden und bekanntlich als „pulsatorisches Tremolo" auch hörbar. Das ist am auffallendsten beim Ausklingen des Tones in Pianissimo, denn der Einfluß einer Druckschwankung von etwa 2 bis 5 mm Wasser auf die Stimme wird um so bedeutender, je schwächer der Anblasedruck, je mehr Luft verbraucht und je schwieriger demnach die Aufgabe des Stimmorgans ist. C. N. Stewart hat diese Erscheinung schon 1898 beschrieben und darauf hingewiesen, daß sie namentlich bei Ermüdung der Singstimme auftritt, und daß sie von geschulten Sängern selbst bei langen Pianotönen ausgeglichen wird, bis auch ein empfindliches Ohr sie nicht mehr wahrnehmen kann. Gerät die Stimme vor dem Verklingen in ein deutliches Schwanken, so erlischt sie mit dem Pulsschlag. Dieses Abbrechen des Tones ist leicht zu erkennen, wenn man gleichzeitig eine Kurve mit dem Kehltonschreiber (von Gutzmann sen.-Wethlo) neben der laryngographischen und der Pulskurve aufnimmt.

Abb. 32.



Pulsatorisch. Tremolo; oben Karotis-Pulskurve; unten Stimmkurve, aufgenommen mit dem Kehltonschreiber. (Nach Nadoleczny.)

Das pulsatorische Tremolo ist dort in der Stimmkurve ebenfalls angedeutet, wo es Fujita nicht nachgewiesen hat. Besonders schön zeigt es Abb. 32. Entsprechend den kardiopneumatischen Kurven von Landois sieht man in der nasalen Stimmkurve eines gesummten Tones mit der Erhebung der Pulswelle eine Verstärkung, ausgedrückt in der Amplitudenhöhe. Fujita nimmt an, dabei werde auch die Stimmhöhe „natürlich" beeinflußt, „und zwar so, daß die Stimmhöhe mit der Drucksteigerung höher, mit der Druckabnahme tiefer wird". Es ist ihm aber nicht gelungen, diesen Höhenwechsel objektiv zu veranschaulichen. Auch Nadoleczny konnte ihn nicht nachweisen.

Der Einfluß des Pulses macht sich demnach an allen Aufnahmen der Atem- und Kehlkopfbewegungen geltend. Er tritt in den Stimmkurven als pulsatorisches Tremolo bei leisen Tönen gegen

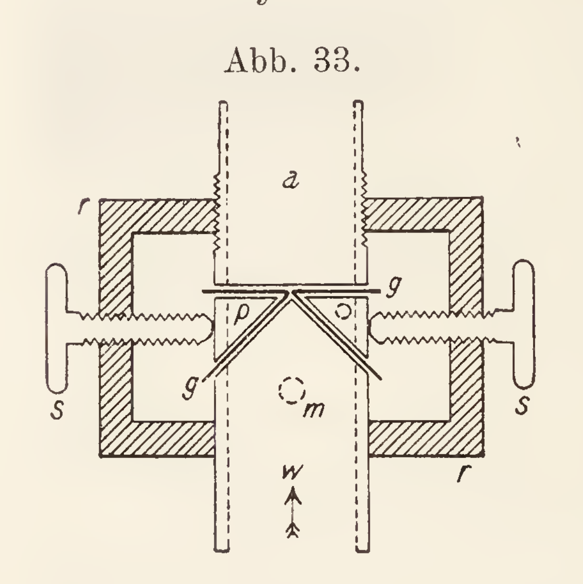
Ende der Ausatmung hervor und läßt sich dann auch mit dem Atemvolumschreiber annähernd messen. Der Mehrverbrauch an Luft während des Pulsstoßes beträgt nach Nadoleczny bei tiefen Pianotönen für die Männerstimme zwischen rund 0,5 bis 1,5 ccm. Der geübte Sänger vermag das pulsatorische Tremolo zu unterdrücken. Es ist bei stimmlicher Ermüdung erfahrungsgemäß deutlicher.

Stimmphysiologie.

1. Bildung der Stimme.

Die Entstehung des Tones bei dem menschlichen Kehlkopf erfolgt nicht, wie man gewöhnlich in phonetischen Lehrbüchern lesen kann, nach dem Prinzip der membranösen durchschlagenden Zungenpfeifen, sondern höchstwahrscheinlich nach dem von Ewald in dem Heymannschen Handbuch der Laryngologie gegebenen Prinzip der sogenannten Polsterpfeifen, welche Nagel charakteristischer als Gegenschlagpfeifen bezeichnet. Die Art, wie diese Pfeifen angeblasen werden können, ergibt sich aus der Abb. 33.

Abb. 33.



Den wichtigsten Aufschluß über die Art und Weise, wie sich die Stimmlippen bei dem Tönen bewegen, verdanken wir der von Oertel zuerst hierfür angewandten stroboskopischen Beobachtung. Sehr schnelle periodische Bewegungen können mittels einer stroboskopischen Scheibe oder durch sonstwie regelmäßig unterbrochene Belichtung in ihrer Bewegung bis ins einzelnste hinein verfolgt werden. Betrachtet man einen das a^1 singenden Kehlkopf in einem Lichtstrahl, der durch die Löcher einer stroboskopischen Scheibe 435 mal in der Sekunde unterbrochen wird, so sieht man die Stimmlippen stillstehen, und zwar entweder in absolutem Schluß oder in mehr oder weniger weiter Öffnung, da ja die Belichtungen des Kehlkopfbildes genau in derselben Periodizität erfolgen wie die Bewegungen der Stimmlippen. Trifft man demnach bei dieser Beobachtung zufällig auf die weiteste Öffnung der Stimmlippen, während das erste Loch den ersten Lichtblitz auf die Lippen

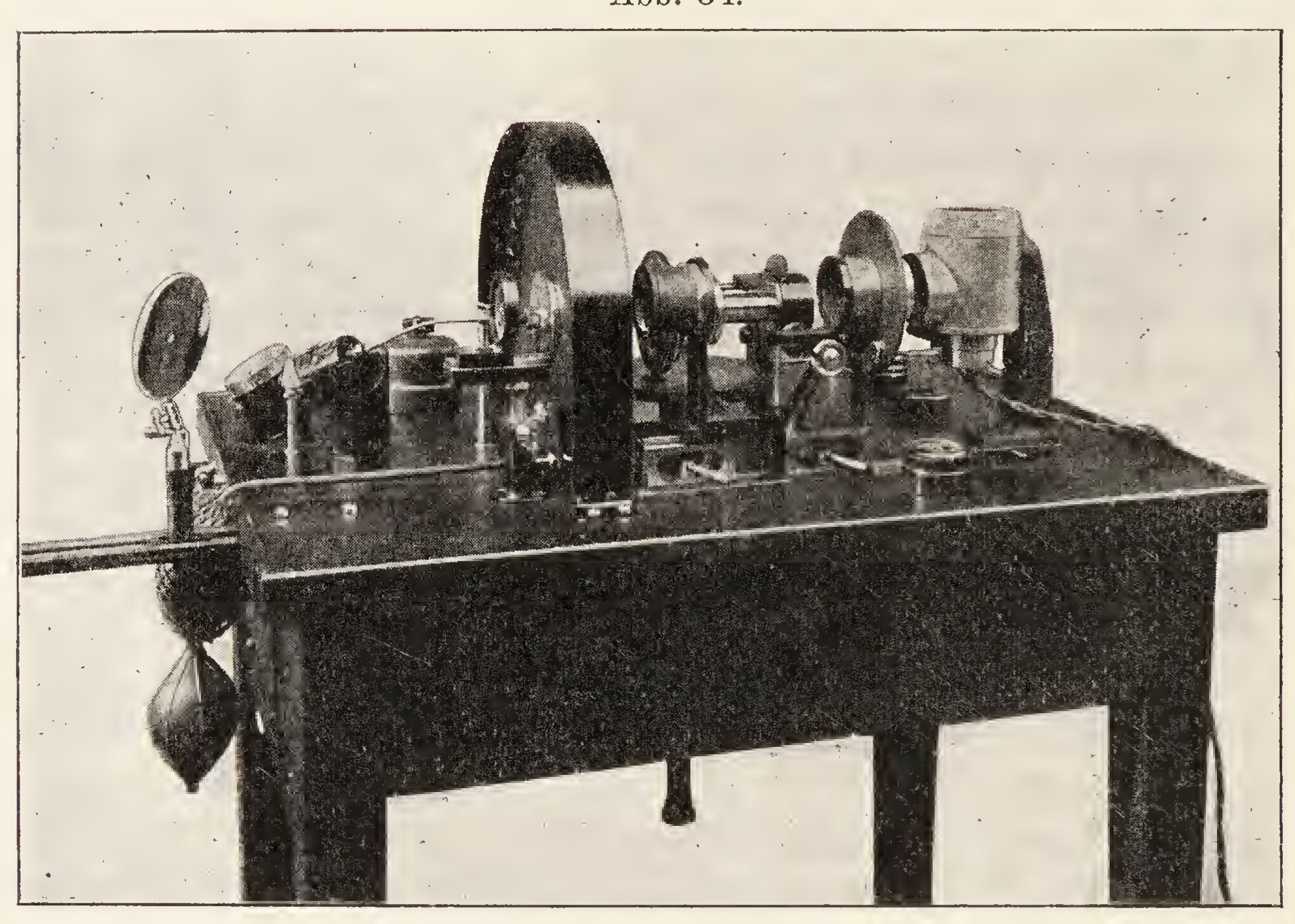
sandte, so wird, vorausgesetzt, daß das a^1 ganz gleichmäßig angehalten wird, beim zweiten Lichtblitz sich dasselbe Bild ergeben müssen, da inzwischen die Stimmlippen eine volle Schwingung gemacht haben. Dasselbe ist der Fall, wenn bei dem ersten Lichtblitz die Stimmlippen völlig geschlossen sind; dann bleibt das Bild das gleiche bei allen folgenden Lichtblitzen, da ja eine volle Schwingung stets der zeitlichen Aufeinanderfolge zweier Lichtblitze synchron ist. Ändert man jedoch den Lauf der das Licht unterbrechenden stroboskopischen Scheibe, so daß sie ein wenig schneller oder ein wenig langsamer läuft, vielleicht so, daß statt 435 Lichtblitze deren 436 in der Sekunde erfolgen, so wird, immer ganz gleichmäßige Schwingungen der Stimmlippen und gleichmäßigen Lauf der stroboskopischen Scheibe vorausgesetzt, eine langsame Bewegung der Stimmlippen dem untersuchenden Auge sichtbar werden, wobei der Untersucher jede Phase der Bewegung bequem verfolgen kann. Die von Mach herrührende Untersuchung im unterbrochenen Lichtstrahl hat nicht nur bei den Schwingungen von Membranen und Saiten ausgezeichnete Resultate ergeben, sondern ist, wie gesagt, durch Oertel auf die Beobachtung des Kehlkopfes übertragen worden. Oertel, Koschlakoff und besonders Réthi und Musehold haben dann sorgsame Untersuchungen über die Bewegung der Stimmlippen angestellt, und aus diesen Untersuchungen ergibt sich, daß der Stimmlippenmechanismus, wenigstens bei der Erzeugung der Bruststimme, in der Art der Gegenschlagpfeifen sich abspielt.

Bemerkenswerte Versuche über die Mechanik der Stimmlippenbewegung hat Tonndorf angestellt. Er geht dabei von der Stromlinienbildung in Engpässen aus und will die dort gefundenen aerodynamischen Gesetze [1]) auch auf die Verhältnisse im Kehlkopf angewendet wissen. Danach besitzt der die Glottis durcheilende Luftstrom „nicht nur die Kraft, die Stimmlippen zu trennen, sondern erzeugt gleichzeitig die Kraft, sie wieder zusammenzuführen“. Weiter hat Tonndorf auf Grund älterer, sehr genauer, aber ganz einfacher Überlegungen Untersuchungen

[1]) Einer brieflichen Mitteilung von Zwaardemaker entnehme ich die interessante Tatsache, daß vor ungefähr 50 Jahren schon der belgische Jesuit Ch. Lootens diese aerodynamischen Gesetze in engen Luftkammern — er arbeitete mit einem Rinderkehlkopf — erkannt hat. Er fand bereits neben Stellen mit starkem positiven Druck Stellen mit starkem negativen Druck.

über die Schwingungszahl der Stimmlippen vorgenommen. Man erhält danach Stillstandsbilder der schwingenden Stimmlippen bei der stroboskopischen Betrachtung nicht nur dann, wenn die Anzahl der beleuchtenden Lichtblitze gleich ist der Zahl der Stimmlippenschwingungen, d. h. also, bei n Schwingungen nicht nur mit n Lichtblitzen, sondern auch mit $\frac{n}{2}$, $\frac{n}{3}$, $\frac{n}{4}$ usw. Lichtblitzen (auch mit $2n$ Lichtblitzen). Bei diesen Untersuchungen konnte Tonndorf auch beobachten (er hat es kürzlich noch einmal bestätigen können),

Abb. 34.



Stroboskop nach Loebell.

daß der Stimmlippenschluß nicht nur im Brustregister, sondern auch im Kopfregister stattfindet! Damit würde Tonndorf sich Nagel anschließen. Eine mehrfache Bestätigung dieser Beobachtung auch durch andere Beobachter würde manche Schwierigkeiten in der Registerfrage beseitigen.

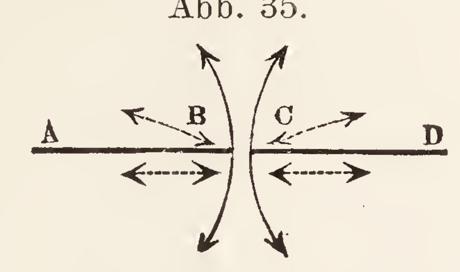
In allerneuester Zeit hat Loebell ein Stroboskop gebaut, das auch den weitestgehenden Ansprüchen genügen dürfte. Der Apparat leistet mit hinreichend gleichmäßiger Genauigkeit 50 bis 2000 Doppelschwingungen in der Sekunde bei raschester Einstellbarkeit (siehe Abb. 34). Ferner hat Dahmann ein Stroboskop

angegeben, in dessen Scheibe sechs Lochstrecken eingeschnitten sind. Hinter der Scheibe ist die Lichtquelle auf einem Schlitten verschieblich, so daß während der Untersuchung die Lichtblitze entsprechend bestimmten Tonintervallen bei gleichbleibender Umdrehungszahl des Motors verändert werden können.

Versuchsanordnungen unter Einbeziehung der Kinematographie mit überraschend guten Ergebnissen hat Hegener, zum Teil mit Panconcelli-Calzia zusammen, angegeben. Letzterer hat das Verfahren noch durch gleichzeitige „Autokatoptrie" erweitert, d. h. die Versuchsperson beobachtet sich selbst ununterbrochen während der ganzen Aufnahme in einem vorn am photographischen Apparat angebrachten Spiegel. Dadurch wird eine ausgezeichnete Kontrolle ermöglicht. Panconcelli-Calzia hat auch die Stereophotographie dazu verwandt, so daß mit Hilfe eines Stereoskops aus den stereokinematographischen Aufnahmen ausgezeichnet plastische Eindrücke vom Phonationsvorgang gewonnen werden können.

Wenn in der beistehenden Abb. 35, die aus Nagels Darstellungen entnommen ist, *AB* und *CD* die oberen Flächen der beiden Stimmlippen darstellen, so würden die Stimmlippen, wenn sie in der Art eines durchschlagenden Zungenpfeifenmechanismus schwingen würden, in der Art der gebogenen Pfeile hin und her pendeln müssen. Würden sie als reine Gegenschlagpfeifen funktionieren, so müßte das Hin- und Herschwingen in der Richtung der gestrichelten Pfeile geschehen. Nach Museholds und auch Nagels Annahme geschieht in Wirklichkeit die Schwingung ungefähr in Richtung des punktierten Pfeiles in einem nach oben konvexen flachen Bogen. Nagel ist der Meinung, daß der Hin- und Rückschwung nicht auf dem gleichen Wege erfolge, sondern daß die ganze Schwingungsbahn eine Art gestreckter Ellipse oder Schleife sei.

Abb. 35.



Schwingungen der Stimmlippen nach Nagel.

2. Tonhöhe und Tonstärke.

Vergleicht man den Durchschnitt einer in Ruhe befindlichen Wethloschen Polsterpfeife (siehe Abb. 33) mit der Begrenzung der Stimmlippen in Abb. 16, so ist es klar, daß diese Pfeife, welche leicht in der exspiratorischen Richtung angeblasen werden kann, am besten den Verhältnissen des Kehlkopfes entspricht. Trotzdem ist

die Darstellung der sonstigen Gesetze der menschlichen Stimmbildung am leichtesten zu studieren an einem membranösen menschlichen Kehlkopf, der, wie das von Johannes Müller zuerst ausgeführt wurde, aus einem über ein hölzernes Anblaserohr herübergezogenen dünnen Gummischlauch besteht, dessen periphere Öffnung an zwei gegenüberliegenden Stellen der Peripherie gefaßt und in die Länge gezogen wird. Auf diese Weise legen sich die Ränder parallel fest aneinander, und beim Anblasen entsteht ein Ton. Man kann leicht zeigen, daß alle Gesetze, welche Johannes Müller an dem Leichenkehlkopf gefunden hat, für diesen künstlichen Kehlkopf ebenfalls gelten.

Die Tonhöhe steigt und fällt mit dem Steigen und Nachlassen der Spannung.

Die Tonhöhe steigt und fällt mit dem Steigen und Nachlassen des Anblasedruckes.

Die Tonstärke steht in direktem Verhältnis zur Anblasestärke.

Daß der Anblasedruck nicht nur die Tonstärke, sondern auch die Tonhöhe beeinflußt, ist übrigens auch mehrfach am lebenden Menschen gezeigt worden, wo man infolge Bestehens einer Luftröhrenfistel unterhalb der Stimmritze Gelegenheit hatte, diesen Druck direkt zu messen. Bei einem von Cagniard Latour beobachteten Falle stieg der Wasserdruck bei lautem Rufen auf 945 mm, beim Singen eines mittleren Tones auf 160 mm, ging er mit dem Ton in die Höhe, ohne ihn zu verstärken, so stieg der Druck auf 200 mm Wasser, beim Flüstern betrug er 30 mm. Grützner konnte in einem ähnlichen Falle folgende Werte feststellen. Bei gleichbleibender Stärke wurden die Töne *a*, c^1 und f^1 gesungen, wobei sich 142, 154, 190 mm Wasserdruck ergaben. Sang er bei gleicher Tonhöhe (c^1) und Stärke die verschiedenen Vokale, so zeigten sich bei *a* 125, bei *e* 212, bei *i* 220, bei *o* 198 und bei *u* 200 mm Wasserdruck. Grützner bringt diese Tatsache mit der verschiedenen Größe der Mundöffnung in Zusammenhang (S. 88 und 89). Ähnliche Resultate erhielt Roudet.

Daß auch Johannes Müller trotz mannigfacher falscher Auffassung in bezug auf das Prinzip der Gegenschlagpfeifen wenigstens bei seinen praktischen Versuchen richtig verfuhr, das geht am besten aus der Art hervor, wie er die Wirkung der seitlichen Kompression der Stimmlippen bei der Bruststimme nachzuahmen suchte. Er benutzte dazu ein Kompressorium, dessen Wirkung deutlich aus der nebenstehenden Abb. 36 hervorgeht, in welcher man einen Leichenkehlkopf erblickt, wie er zur An-

stellung der *Müllerschen* Versuche in Verbindung mit jenem Kompressorium gebracht ist. Mehrfach konnte *Johannes Müller* dann bereits nachweisen, daß bei Verstärkung des Druckes, den die Schenkel des Kompressoriums seitlich auf die Stimmlippen ausübten, der Ton höher wurde. Allerdings trat das nicht immer ein.

Untersuchungen, die *Ewald* anstellte, indem er die Stimmlippen durch zwei Froschmuskeln nachahmte und nun nach dem Anblasen dieser

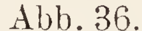


Abb. 36.

Stimmritze durch einen Induktionsstrom die Kontraktion erhöhte, ergaben, daß der Ton in dem Moment der Muskelreizung in die Höhe ging; das gleiche konnte *Nagel* bei ähnlichen Versuchen feststellen, indem er einen M. sartorius des Frosches als einlippige Pfeife verwandte. Die von *Johannes Müller* mit seinem Kompressorium gewonnene Tabelle der Tonerhöhung mit zunehmendem Seitendruck der Stimmlippen ist in Rücksicht dieser neueren Versuche so interessant, daß ich sie hier wiedergebe (J. M., S. 31):

Spannung der Stimmbänder	Töne	Druck auf die Bänder jeder Seite
0	h^1	6,25 Lot
0	a^1	5,75 „
0	g^1	5,25 „
0	f^1	4,75 „
0	dis^1	4,25 „
0	d^1	3,75 „
0	cis^1	3,25 „
0	h	2,75 „
0	a	2,25 „
0	g	1,75 „

inkl. 0,25 Lot Gewicht der Schale und der Schnur

Die Müllerschen Versuche haben für den Gesang besonders in Rücksicht auf die Übungen des An- und Abschwellens eines Tones, wobei nach Möglichkeit darauf geachtet wird, daß weder ein Distonieren (nach oben), noch ein Detonieren (nach unten) eintritt, noch heute mehr als historische Bedeutung. Er zeigte mit seiner Versuchsanordnung, wie gleiche Töne, die an Stärke zunehmen, was ja, wie wir oben betonten, der Anblasestärke proportional ist, in bestimmter Weise an Spannung abnehmen müssen, und zwar sowohl bei der Fistel- wie bei der Bruststimme.

Dem stehen die Ergebnisse, die Wethlo bei den Versuchen mit seiner Polsterpfeife gewonnen, entgegen. Er erhielt bei verstärktem Blasedruck fast immer, meist $^1/_2$ bis 1 Tonstufe, tiefer liegende Töne. Wethlo fand außerdem, daß die Längen- und Weitenmaße von Windrohr (Trachealbaum) und Ansatzrohr die Tonhöhe beeinflussen. In dieser Richtung angestellte Versuche ergaben aber ziemlich verschiedene Resultate, so daß größere Versuchsreihen erforderlich sind, um zu einem abschließenden Urteil zu gelangen. Zu ähnlichen Ergebnissen wie Müller kam Ewald, erwähnt aber auch die „verhältnismäßig große Unabhängigkeit der Tonhöhe vom Winddruck“ und meint, daß, ähnliche Verhältnisse, wie bei der Polsterpfeife, auch beim menschlichen Kehlkopf vorausgesetzt, das Anschwellen eines Tones dann „ohne besondere oder mit nur sehr geringer Kompensation der Kräfte“ möglich sein müsse. Nadoleczny erinnert an das Detonieren schon bei ganz leichten Stimmstörungen, also Schwächezuständen, was auf außerordentlich fein abgestufte Kompensationsverhältnisse hinweist.

Auch Giesswein bringt Tonhöhe und Länge des Trachealbaumes in Zusammenhang und dehnt seine Untersuchungen auch noch auf die Festigkeit der Wandungen des Trachealbaumes aus wie auf seine Umgebung.

3. Register.

Bezüglich der Frage, wie Brust- und Falsettregister zustande kommen, gibt Johannes Müller auf Grund seiner Untersuchungen am Leichenkehlkopf bekanntlich folgende Theorien: Bei der Bruststimme schwingen die Stimmlippen in ganzer Breite, ebenso die mit ihnen verbundenen Membranen und der M. thyreo-arytaenoideus. Bei den Fisteltönen dagegen schwingt bloß der innere oder der Randteil der Stimmlippen.

Schon Merkel behauptete für die Unterscheidung der Muskeltätigkeit bei Brust- und Fistelstimme eine gewisse Gegenwirkung des M. thyreoarytaenoideus internus mit dem M. crico-thyreoideus.

Der erste, der sich klar über die Frage nach den Stimmregistern aussprach, war Garcia: „Wir verstehen unter Register eine Reihe von aufeinanderfolgenden homogenen, von der Tiefe zur Höhe aufsteigenden Tönen, die durch die Entwicklung desselben mechanischen Prinzips hervorgerufen sind, und deren Natur sich durchaus unterscheidet von einer anderen Reihe von ebenfalls aufeinanderfolgenden homogenen Tönen, die durch ein anderes mechanisches Prinzip hervorgerufen sind. Alle demselben Register angehörigen Töne sind indessen von einerlei Natur, gleichviel, welche Modifikationen sie hinsichtlich des Klanggepräges oder der Stärke erleiden können. Die Register decken einander in einem Teile ihres Gebietes, so daß die in einer gewissen Region vorhandenen Töne zu gleicher Zeit zwei verschiedenen Registern angehören können, und daß die Stimme dieselben, sei es im Sprechen, sei es im Singen, angeben kann, ohne sie miteinander zu verwechseln.“ Wie schon oben auseinandergesetzt, unterscheiden wir zwei Hauptregister: Brust- und Falsettregister, zwischen denen ein Mittelregister liegt. So außerordentlich leicht wir nun mit dem Ohr unterscheiden, ob ein Ton im Brustregister oder im Falsett gesungen wird, und so leicht es dem Sänger selbst wird, auf Befehl denselben Ton einmal im Brust-, ein zweites Mal im Falsettregister zu singen, so schwierig ist die Antwort auf die Frage, welche Teile des Klanggebildes diesen Eindruck hervorrufen, und genau zu sagen, welche Teile des Stimmorgans die Ursache dieser Einstellung sind.

Die direkte Beobachtung im laryngoskopischen Bilde ergab bei zahlreichen Versuchen, die Gutzmann sen. an sich und an anderen angestellt hat, stets sehr deutlich, daß bei der Bruststimme der Stimmlippenrand gerundet, bei der Fistelstimme dagegen scharf abgesetzt war. Diese Form des Stimmlippenrandes läßt sich im Kehlkopfspiegel ebenso leicht erkennen, wie man auf den Rand eines Tisches von oben her sehend sagen kann, ob dieser Rand eckig oder rund sei. Man würde aus diesem laryngoskopischen

Befund schlußfolgern, daß bei rundem Stimmlippenrand der gesamte M. internus sich in Kontraktion befinde, während bei dem scharfen Rande der Falsettstimme mindestens die Randteile desselben erschlafft sein müssen, eine Deutung, die sich den älteren Deutungen von Johannes Müller und Lehfeldt durchaus anschließt.

Weit klarer wird aber diese Frage entschieden durch die Untersuchungen mittels der stroboskopischen Scheibe. Schon oben wurde auf die wichtigen Resultate, welche Musehold bei der Untersuchung des Brustregisters gefunden hat, hingewiesen, und die sich bei der leicht ausführbaren Nachprüfung Gutzmann sen. stets als sehr zuverlässig erwiesen haben: den vollkommenen Schluß der Stimmlippen abwechselnd mit weiter, bis zu 1 und $1^1/_2$ mm gehender Öffnung. Für die Fistelstimme haben die stroboskopischen Beobachtungen von Musehold und besonders die von Réthi ergeben, daß die kräftigen Schwingungen in der Randzone nur bis zu einer bestimmten, dem Rande der Stimmlippen parallelen Linie reichen, an der sich Schleimtröpfchen als an einer relativ ruhigen Stelle in einer Reihe anordnen, eine Erscheinung, die von Oertel, Koschlakoff und anderen fälschlicherweise als „Knotenlinie" angesehen worden ist.

Bemerkenswert ist die Beobachtung, die Réthi zuerst gemacht hat und die man in der Tat leicht selbst beobachten kann, daß, wenn der freie Rand der Stimmlippe bei möglichst genauem Innehalten des Tones der stroboskopischen Scheibe nach aufwärts schwingt, die Schärfe dieses Randes wie eine Kante nach außen rückt, während der freie Rand wieder abwärts geht, und daß diese Kante, indem sie allmählich verstreicht, eine kurze Strecke weit lateralwärts abläuft, endlich, daß man oft die zweite Kante unterwegs sähe, bevor die erste abgelaufen sei. Diese „Réthische Welle" wird nach Angabe ihres ersten Schilderers auch bei der Mittelstimme angetroffen.

Nicht unwesentlich erscheint, daß Musehold bei der Fistelstimme in stroboskopischer Untersuchung keinen völligen Schluß der Stimmlippen feststellen konnte, so daß er dazu neigt, wenigstens bei der Fistelstimme eine dem Mechanismus der durchschlagenden Pfeife entsprechende Bewegung anzunehmen. Nagel betont, daß, wenn man eine steile Aneinanderlegung der inneren Stimmlippenränder annehmen würde, ähnlich wie dies bei dem oben beschriebenen künstlichen Kehlkopf der Fall ist, der Mechanismus der der aufschlagenden Zungenpfeifen sein müsse. Dabei müsse außerdem auch stroboskopisch stets ein vollständiger Glottisschluß sichtbar werden, und da dieser nicht eintrete, so könne man nicht einsehen,

wie der Kehlkopf als durchschlagende oder aufschlagende Zungenpfeife funktionieren könne. Nagel nimmt deswegen noch durchaus keine völlige Klärung der Schwingungsart der Stimmlippen im Falsettregister an. Tonndorf hat im Gegensatz zu Musehold bei seiner Versuchsanordnung (s. S. 52) deutlich gesehen, daß die Stimmlippen sich auch bei Kopfstimme völlig schließen.

Was nun die Muskelwirkungen bei den beiden Registern anbelangt, so ist bereits gesagt worden, daß bei der Bruststimme der M. internus in seinem ganzen Verlauf kontrahiert ist. Daß er allein die Spannung der Stimmlippen nicht ausmacht, ist aus den anatomischen Verhältnissen, die oben geschildert wurden, ganz deutlich. Es tritt sicherlich zu seiner Wirkung stets die des M. crico-thyreoideus. Während aber bei der Bruststimme der M. crico-thyreoideus in seiner Wirkung mehr zurücktritt, wird beim Falsett die Tonabstufung, d. h. die Spannung der Stimmlippen, vorwiegend durch ihn vollführt.

Katzenstein vermochte am Hundekehlkopf durch Versuche diese alte, schon von Merkel aufgestellte Ansicht von neuem zu bekräftigen. Da aber naturgemäß die Erfahrungen der Vivisektion nicht ohne weiteres auf den Menschen übertragen werden können, so ist es von höchstem Interesse, die Ergebnisse kennenzulernen, welche Jörgen Möller-Kopenhagen in Gemeinschaft mit Fischer mittels des Röntgenverfahrens am lebenden Kehlkopf gewonnen hat. Wenn er einen Sänger den gleichen Ton in Brust- und in Falsettstimme halten ließ und währenddessen eine Röntgenaufnahme machte, so zeigte sich das Dreieck zwischen dem unteren Rande des Schildknorpels und dem oberen des Ringknorpels bei der Fistelstimme stets wesentlich enger, ein Zeichen davon, daß hier die Wirkung des M. crico-thyreoideus stärker angesetzt hatte. Während in der Ruhelage die Entfernung des unteren Randes des Schildknorpels von dem oberen Rande des Ringknorpels 14 mm betrug, zeigte sie bei *A* in der Bruststimme 8, bei *a* in der Bruststimme 6,5 mm, so daß man auch für die Bruststimme ganz offensichtlich die Tonabstufung des M. crico-thyreoideus bemerken kann. Viel interessanter aber ist die Vergleichung desselben Tones in Brust- und Fistelstimme. So zeigen die hier beigegebenen Bilder das e^1 in Brust- und Fistelstimme gesungen, wobei die Entfernung der beiden Punkte bei der Bruststimme 8,5, bei der Falsettstimme 8 mm beträgt. Dasselbe Verhältnis zeigte sich bei dem fis^1. Man kann demnach diese Möllerschen Untersuchungen nun als eine willkommene Ergänzung zu unseren bisherigen, durch Katzenstein erwiesenen Kenntnissen der Wechselwirkung bei der Brust- und Fistelstimme betrachten.

Die nächste Frage ist nun, wie das Mittelregister zustande kommt, dasjenige Register, welchem gesanglich die höchste Bedeutung zukommt. Der erfahrene und geschulte Sänger ist ohne Mühe imstande, von der Bruststimme in kontinuierlicher Tonfolge

ganz unmerklich in die Kopfstimme und ins Falsett überzugehen, während der ungeübte an bestimmter Stelle deutlich vernehmbar aus dem Brust- in das Falsettregister umschlägt. Wie kommt nun jener unmerkliche Übergang zustande? Wenn wir die oben an-

Abb. 37.



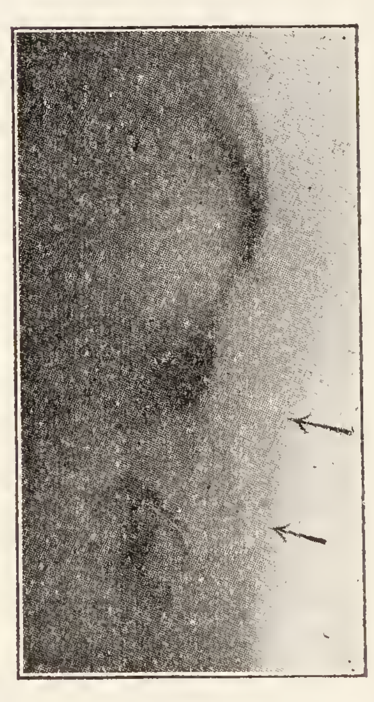
e' in Bruststimme.

Abb. 38.



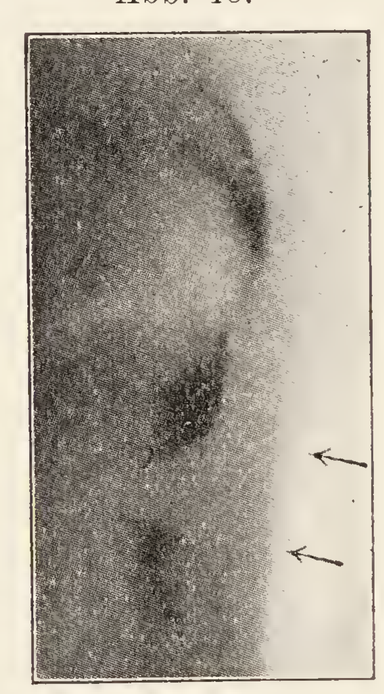
e' in Fistelstimme.

Abb. 39.



fis' in Bruststimme.

Abb. 40.



fis' in Fistelstimme.

genommenen Muskelwirkungen als wirklich vorhanden ansehen, so kann man sich denken, daß während des unmerklichen Übergangs ein allmähliches Nachlassen der Kontraktion der inneren Fasern des Internus und ein dementsprechendes Ansteigen der Kontraktion

des Crico-thyreoideus stattfindet. Leider liegen sorgsame stroboskopische Untersuchungen über diese Frage bisher noch nicht vor. Réthi scheint etwas Ähnliches im Auge zu haben, da er angibt, daß die Stimmlippen im Mittelregister in größerer Ausdehnung schwingen als beim Falsett. Dieses Mittelregister wird von manchen Sängern und Kunstgesanglehrern als „Voix mixte“ bezeichnet.

Die Kopfstimme ist eine an Obertönen reichere, also klangvolle und musikalisch brauchbare Falsettstimme mit eigentümlichen Resonanzvorgängen, auf die später noch näher eingegangen werden soll. Das Strohbaßregister wird bei sehr schlaffen dicken Stimmlippen erzeugt und tritt unter pathologischen Verhältnissen, besonders beim Katarrh, sehr stark hervor. Recht auffallend wird es dann, wenn die Stimmlippen durch chronische Katarrhe eine dauernde Verdickung und Verhärtung erfahren haben: der rauhe Baß alter Trinker (H. v. Meyer).

Ein sehr hoch liegendes viertes Register ist von Semon, P. Schultz, Lüders und Th. S. Flatau sowie Nadoleczny als „Pfeifregister“ beschrieben worden. In gemeinschaftlicher Arbeit mit Flatau hat Gutzmann sen. es bei den Untersuchungen der Stimme der Schulkinder mehrfach vorgefunden. Es zeigte sich dabei eine eigentümliche, spindelförmige Stimmritze mit kleiner runder Öffnung in der Mitte. Über die Häufigkeit dieses Registers in den Stimmen der Schulkinder wird noch Näheres mitgeteilt werden.

In neuester Zeit hat sich Nadoleczny[1]) besonders mit der Registerfrage beschäftigt. Er gibt mit Benutzung der Begriffsbestimmung von Garcia und auf Grund laryngoskopischer sowie laryngographischer und pneumographischer Untersuchungen folgende Registerdefinition:

„Unter Register verstehen wir eine Reihe von aufeinanderfolgenden gleichartigen Stimmklängen, die das musikalisch geübte Ohr von einer anderen sich daran anschließenden Reihe ebenfalls unter sich gleichartiger Klänge an bestimmten Stellen abgrenzen kann. Ihr gleichartiger Klang ist durch ein bestimmtes konstantes Verhalten der Obertöne bedingt. Diesen Tonreihen entsprechen an

---

[1]) Nadoleczny, Physiologie der Stimme und Sprache, Handbuch der Hals-, Nasen-, Ohrenheilkunde, herausgegeben von A. Denker und O. Kahler, Bd. 1, Verlag J. Springer, Berlin 1925, und Untersuchungen über den Kunstgesang, Verlag J. Springer, Berlin 1922. Hier findet sich auch eine reichhaltige Literaturangabe über die Registerfrage und Registerbezeichnungen.

Kopf, Hals und Brust bestimmte objektiv und subjektiv wahrnehmbare Vibrationsbezirke. Die Stellung des Kehlkopfes ändert sich beim Übergang von einer solchen Tonreihe zur anderen beim Natursänger stärker als beim Kunstsänger. Die Register sind hervorgerufen durch einen bestimmten ihnen zugehörigen Mechanismus der Tonerzeugung (Stimmlippenschwingungen, Stimmritzenform, Luftverbrauch), der jedoch einen allmählichen Übergang von einem ins angrenzende Register zuläßt. Eine Anzahl dieser Klänge kann jeweils in zwei angrenzenden Registern, aber nicht immer in gleicher Stärke hervorgebracht werden. Zum Sprechen in der Umgangssprache können alle drei Register dienen, jedoch darf man die Verwendung der Bruststimme und etwa noch der Mittelstimme dabei als normal ansehen."

4. Genauigkeit der Stimme.

Wie genau die Stimmuskulatur einen bestimmten Ton wiedergeben kann, darüber sind verschiedene Untersuchungen angestellt worden. Der erste, welcher darüber auf Veranlassung von Hensen arbeitete, war Klünder. Bekanntlich kann man aus der Anzahl der Schwebungen, welche zwei nahezu gleiche Töne in der Zeiteinheit machen, die Differenz der Schwingungszahl erschließen. Wenn man die Anzahl der Schwingungen kennt, die die eine Tonquelle macht, so kann man daraus die Schwingungen der zweiten Tonquelle berechnen, vorausgesetzt, daß man weiß, ob letztere höher oder tiefer als der bekannte Ton ist. Da es aber nur darauf ankommt, die Prozente der Abweichungen der zweiten Tonquelle aus den Schwebungen zu bestimmen, so ist auch dieses zu wissen nicht nötig, da es nur einen sehr geringen Fehler ausmacht, ob man die Prozente z. B. statt 429 nur 427 oder umgekehrt berechnet. Klünder leitete den einen Ton einer Orgelpfeife durch den einen Arm des Königschen Differenzapparates zur empfindlichen Flamme, während in den anderen Arm der zu untersuchende Ton hineingesungen wurde. Er beobachtete dann die Gasflamme und markierte die sich als Bewegung derselben zeigenden Stöße durch den Schlag gegen die eine Zinke einer Stimmgabel, die das *c* auf die kymographische Trommel schrieb, so daß sich in ihrer Welle dieser Stoß abzeichnete. Unter dieser so veränderten Stimmgabelkurve war eine zweite Stimmgabelkurve des *c* aufgezeichnet. Es ergab sich, daß die Mittelzahl des Fehlers bei dem Singen des *c* (128 Schwingungen) 0,761 % betrug, während die bei *g* (192 Schwingungen)

0,434 %, die bei c^1 (256 Schwingungen) 0,257 % betrug. Klünder glaubte den großen Unterschied von 0,761 zu 0,257 % im Umfang einer Oktave auf eine ungleiche Schärfe des Gehörs zurückführen zu müssen; nach angestellten Versuchen zeigte sich jedoch, daß diese in der Höhe und Tiefe fast gleich war, da sich die Genauigkeit bei *c* und a^1 (mit 430 Schwingungen) wie 1001,56 zu 1001,54 herausstellte. Er schließt daher, daß der Grund, weshalb höhere Töne so viel genauer von unserem Kehlkopf angegeben und gehalten werden, im Kehlkopf selbst und nicht im Gehör zu suchen sei, daß demnach bei kontrahierteren Muskeln die Erhaltung in gleichmäßiger Spannung leichter sei, als bei weniger kontrahierten.

Genauer war das graphische Verfahren, dessen sich Klünder und Hensen bedienten. Sie ließen zwei Membranen, die eine vom gegebenen Ton, die andere von dem nachgesungenen, in Bewegung setzen und ihre Schwingungen gleichzeitig auf eine rotierende Trommel aufzeichnen. Sodann wurde die Häufigkeit der Bewegungen gezählt und daraus das Ergebnis berechnet, um wievielmal häufiger oder langsamer der Ton des Kehlkopfes in der Zeiteinheit schwankt, als der gegebene Ton, den er nachzusingen sich bemühte. Dieses genauere Verfahren ergab bei *G* (96 Schwingungen) 0,342 %, bei *c* (128 Schwingungen) 0,364 %, bei *g* (196 Schwingungen) 0,323 % und bei c^1 (256 Schwingungen) 0,230 %.

Hensen benutzte ein optisches Verfahren, das ohne besondere Umstände nachgeprüft werden kann. Er ließ das Bild der durch die Stimme angesungenen Königschen Flamme in einem wagerecht oszillierenden Spiegel, der senkrecht an die Zinke einer Stimmgabel befestigt war, entstehen. Befinden sich hierbei der Ton der Stimme und der Stimmgabel genau im Einklang bzw. in konstantem Verhältnis, so sieht man im Spiegel ruhende Flammenbilder. Schwankt jedoch die Tonhöhe der Stimme ein wenig nach oben oder unten, so zeigen die Bilder eine Bewegung nach links oder rechts, ähnlich wie bei den Lissajousschen Stimmgabelkurven. Hensen zeigte so, daß kein Sänger imstande war, eine gegebene Tonhöhe längere Zeit festzuhalten. Wichtig ist, zu bemerken, daß die von Klünder festgestellten Fehlerprozente nicht allein auf den Kehlkopf kommen, sondern zum Teil auch auf die Fehler, die das Ohr in der Beurteilung der Tonhöhe macht.

In ähnlicher Weise wie Hensen hat auch P. v. Grützner ein Verfahren beschrieben, um die Genauigkeit im Nachsingen eines gegebenen Tones leicht zu demonstrieren. Der Spiegelapparat, den er dabei benutzt, ist ähnlich gebaut wie der Samojloffsche Apparat, den wir weiter unten noch kennenlernen werden.

Alle diese Versuche sind gewiß von der größten Bedeutung, nicht nur für die Physiologie der Stimme überhaupt, sondern im

besonderen auch für die Physiologie des Gesanges bzw. die individuelle Genauigkeit des Sängers. Man darf aber bei der Beurteilung nicht vergessen, daß der gegebene und der nachgesungene Ton stets gleichzeitig ertönten, und deshalb ist auch die aus den rechnerischen Untersuchungen Klünders sich ergebende Genauigkeit der Kehlkopfleistung nicht so sehr erstaunlich. Es ist nämlich höchst bemerkenswert, wie auffallend die Schwebungen, welche zwischen dem gegebenen und dem nachgesungenen Ton in etwas stärkerer Weise

Länge gesungener Vokalperioden (Kind, 13 Jahre alt).

Stimmnote	Gemessene Länge	Berechnete Länge	Theoretisches Verhältnis	Stimmnote	Gemessene Länge	Berechnete Länge	Theoretisches Verhältnis
c^1	27,3	27,2	1	g^1	17,9	18,1	$^2/_3$
d^1	24,2	24,2	$^8/_9$	a^1	16,4	16,3	$^3/_5$
e^1	22,1	21,7	$^4/_5$	h^1	14,5	14,5	$^8/_{15}$
f^1	20,4	20,4	$^3/_4$	c^2	13,6	13,6	$^1/_2$

Länge gesungener Vokalperioden (Frau und Mann).

Frau (Sopran)				Mann (Bariton)			
Stimmnote	Gemessene Länge	Berechnete Länge	Theoretisches Verhältnis	Stimmnote	Gemessene Länge	Berechnete Länge	Theoretisches Verhältnis
c^1	32,5	31,5	1	c	60	63	1
d^1	28,5	28	$^8/_9$	e	50	50,4	$^4/_5$
f^1	23,5	23,6	$^3/_4$	g	43,5	42	$^2/_3$
g^1	21	21	$^2/_3$	c^1	32,5	31,5	$^1/_2$
a^1	18,5	18,9	$^3/_5$				

entstehen, sofort von dem Individuum durch Veränderung seiner Stimmlippenspannung ausgeglichen und fast völlig zum Verschwinden gebracht werden. Bei zahlreichen Tonhöhen- und Tonumfangsuntersuchungen, die Gutzmann sen. mit dem Harmonium vornahm, ist selbst bei ganz unmusikalischen Personen dieses Verhalten aufgefallen. Wenn er eine vollständig unmusikalische Person einen Ton längere Zeit aushalten ließ und auf dem Harmonium den möglichst dazu passenden Ton daneben dauernd ertönen ließ, so waren nur zu Anfang dieses Versuches stärkere Schwebungen vorhanden. Fast stets suchte selbst das gänzlich unmusikalische Individuum

durch Veränderung seiner Stimmlippenspannung geradezu automatisch die Schwebungen zu vermeiden[1]).

Seit dem Erscheinen der ersten Auflage dieses Buches sind nun weitere Versuche über das Nachsingen angestellt worden. So von Sokolowsky, Kerppola, Walle und K. L. Schaefer und A. Guttmann.

Beim Nachsingen eines gleichzeitig erklingenden Orgelpfeiftones oder Stimmgabeltones (Unisonoversuche) ergeben sich nach Sokolowsky 0,443 % Fehler im Mittel, nach Klünder 0,357 % und nach Kerppola und Walle 1 %. Bei diesen Unisonoversuchen sind allerdings immer die entstehenden Schwebungen mit ihren eben erwähnten zwangsläufigen Ausgleichserscheinungen zu berücksichtigen.

Beim Singen von Intervallen zu einem gleichzeitig erklingenden Ton kamen Sokolowsky sowie Kerppola und Walle zu folgenden Ergebnissen:

	Nach Sokolowski %	Nach Kerppola und Walle %
Beim Grundton	0,443	0,3—1,3
Bei der kleinen Terz	0,783	1,2—1,8
„ „ großen „	1,520	0,4—2,0
„ „ Quart	1,25	0,6—1,3
„ „ Quint	**3,282**	0,1—**2,7**
„ „ Sext	1,005	1,1—2,1
„ „ Oktave	1,163	0,1—2,0

Demnach macht besonders die Quint Schwierigkeiten, während bei allen anderen Intervallen die Fehler nicht allzusehr ins Gewicht fallen. Nach Sókolowsky war es gleichgültig, ob die Tonfolge aufsteigend oder absteigend gesungen wurde. Derselbe Autor gibt an, daß häufiger zu tief als zu hoch gesungen wurde.

Die Unisonoversuche von K. L. Schaefer und A. Guttmann sind besonders wegen der einwandfreien Versuchspersonen

[1]) Es sei nebenbei bemerkt, daß die bei dem Empfinden der Vibrationen zweier gleichzeitig in Bewegung gesetzter, nur ungefähr gleichgestimmter Stimmgabeln entstehenden Vibrationsschwebungen in ganz ähnlicher Weise im Körper des den Kehlkopf des vorsprechenden Lehrers betastenden Taubstummen entstehen, und daß auch der völlig Taube bei einiger Übung es versucht, die entstehenden Vibrationsschwebungen zu vermeiden, so daß er den vorgesungenen Ton bei längerem Tasten manchmal nahezu richtig nachsingt.

(C. Stumpf, v. Hornbostel, K. L. Schaefer und A. Guttmann) bemerkenswert. Es stellte sich heraus, daß bei der gleichzeitigen Darbietung zweier Töne große Tonhöhenunterschiede notwendig waren, um zwei voneinander abweichende Töne als unrein zu erkennen. In der Gegend der mittleren Singstimme des Mannes waren Schwingungsunterschiede von 1 bis 2 %, oft sogar noch mehr, bis zu $4^1/_2$ % nötig, um zu dem Urteil „beginnende Unreinheit" zu kommen. Diesen Schwingungsunterschieden entspricht etwa der Wert von $^1/_4$ bis $^1/_2$ Ton! In noch tieferen Lagen, etwa bis *Fis*, ist die Unreinheit erst bei einem Ganzton bemerkbar. Neuerdings hat nun A. Guttmann die Versuche fortgesetzt, indem er einen feststehenden bekannten Ton und den vom Nachsinger angestimmten Ton gleichzeitig graphisch aufnahm. Die Unterschiede schwanken von + 1 bis — 1 %, ja, gelegentlich bis zu 4 %, nachdem der Ton wesentlich zu tief begonnen hatte. Im Gegensatz zu Sokolowsky ergaben sich bei dem Singen der verschiedensten Intervalle demgegenüber keine Abweichungen. Die Fehler blieben die gleichen. Man kann daher über die Frage, ob man im a-capella-Gesang „rein" oder „temperiert" singe, nach Guttmann überhaupt nicht streiten, da ja alle Sänger ständig viel gröbere Fehler machen, als der Schwingungsunterschied zwischen „reiner" und „temperierter" Stimmung überhaupt beträgt. Ebenso erledigt sich hiermit die Möglichkeit, eine Vokalmusik in Vierteltönen hervorzubringen. Dagegen sind von größter Bedeutung für das „Reinsingen" eine Reihe von gesangsphysiologischen Momenten (Tonlage, Art des Ansatzes, Sprachbestandteile, vor allem Vokale, Stärkegrade und Registerwahl, Schwelltöne usw.), sowie die musikpsychologische Einstellung des Singenden (die Stellung des jeweiligen Tones innerhalb der Harmonie und ähnliches).

Nach M. Schoen wird ein Ton selten länger als $^1/_2$ Sekunde auf genau derselben Tonhöhe gehalten. Die Schwankungen sind dann aber sehr gering, etwa $^1/_{30}$ Ton, und zwar meist nach oben.

Untersuchungen, wie lange die zuerst eingestellte Spannung geändert werden muß, bis der richtige Ton gefunden ist, stehen noch aus.

Ferner wäre zur Prüfung des musikalischen Gedächtnisses beispielsweise die Untersuchung nicht unwesentlich, wie lange nach dem Verklingen des Tones ein richtiges oder nahezu richtiges Nachsingen noch stattfinden kann, ohne daß bei dem betreffenden Menschen absolutes Tonbewußtsein vorhanden ist, was

natürlich stets eine ausgezeichnete Korrektur geben würde. So berichtet Nagel von einem $3^1/_2$ jährigen Knaben, der sonst keine musikalische Begabung zeigte, daß er das a^1 einer Stimmgabel ohne jede Einübung nicht nur rein nachsang, sondern auch nach mehreren, d. h. bis zu fünf, Minuten es sicher wiederfand, wenngleich nach solchen Pausen im Einsatz allerdings zunächst Fehler bis zu einem halben Ton vorkamen, die aber schnell nach dem akustischen Erinnerungsbild verbessert wurden. Sokolowsky fand beim Nachsingen eines gegebenen Tones eine halbe bis eine ganze Minute nach dem Verklingen Fehler von 0,07 bis 3,52 $^0/_0$.

Länge gesungener Vokalperioden (Kind, 13 Jahre alt).

Stimmnote	Gemessene Länge	Berechnete Länge	Theoretisches Verhältnis	Stimmnote	Gemessene Länge	Berechnete Länge	Theoretisches Verhältnis
c^1 . . .	27,3	27,2	1	g^1 . . .	17,9	18,1	$^2/_3$
d^1 . . .	24,2	24,2	$^8/_9$	a^1 . . .	16,4	16,3	$^3/_5$
e^1 . . .	22,1	21,7	$^4/_5$	h^1 . . .	14,5	14,5	$^8/_{15}$
f^1 . . .	20,4	20,4	$^3/_4$	c^2 . . .	13,6	13,6	$^1/_2$

Länge gesungener Vokalperioden (Frau und Mann).

Frau (Sopran)				Mann (Bariton)			
Stimmnote	Gemessene Länge	Berechnete Länge	Theoretisches Verhältnis	Stimmnote	Gemessene Länge	Berechnete Länge	Theoretisches Verhältnis
c^1 . . .	32,5	31,5	1	c . . .	60	63	1
d^1 . . .	28,5	28	$^8/_9$	e . . .	50	50,4	$^4/_5$
f^1 . . .	23,5	23,6	$^3/_4$	g . . .	43,5	42	$^2/_3$
g^1 . . .	21	21	$^2/_3$	c^1 . . .	32,5	31,5	$^1/_2$
a^1 . . .	18,5	18,9	$^3/_5$				

Bemerkenswert sind Boekes Versuche über die Leistungen einer ungeschulten Stimme mit gutem musikalischen Gehör. Er bestimmte die Länge der Perioden des von einem 13 jährigen Knaben durch eine Tonleiter hindurch gesungenen Vokales *a*. Nur der erste Ton dieser Tonleiter war durch eine Pfeife angegeben worden. Boeke verglich nun die Länge der Vokalperioden auf den verschiedenen Tönen (jedesmal aus zehn aufeinander-

folgenden der Durchschnitt genommen) mit dem aus dem Kontrollton, dem Umfange des Phonographenzylinders usw. berechneten Längen. Ebenso bestimmte er die Längen gesungener Vokalperioden bei einer Frau (Sopran) und bei einem Mann (Bariton). Die vorstehenden Tabellen zeigen die Ergebnisse übersichtlich zusammengestellt.

5. Stimmeinsätze.

Die Art und Weise, wie die Stimme beginnt, pflegt man von altersher Stimmeinsatz zu nennen. Es gibt drei Arten des Stimmeinsatzes: den gehauchten, den festen und den leisen oder sachten Stimmeinsatz.

Der gehauchte Stimmeinsatz kommt dadurch zustande, daß die Stimmlippen von der Hauchstellung in die zum Tönen verengte Stellung hineinschnellen. Auf diese Weise bildet sich zuerst das Hauchgeräusch, welches kontinuierlich in den Ton übergeht. Natürlich kann dieser Hauch sowohl vor Vokalen wie vor tönenden Dauerlauten gesprochen werden.

Der feste Stimmeinsatz entsteht dadurch, daß sich die Stimmritze vor Beginn des Tönens fest schließt. Unterhalb dieses Schlusses staut sich der Ausatmungsstrom etwas stärker an, so daß die erste Öffnung der Stimmlippen einen explosionsartigen Charakter trägt und mit einem deutlich hörbaren Knall verbunden ist: Coup de glotte, Stimmknall, Glottisschlag, dessen Stärke je nach Veranlagung und Gelegenheit verschieden ist, ja, der oft genug von Gemütsbewegungen beeinflußt wird. Auch bei leisester Entstehung ist er einem einigermaßen geübten Ohr stets unverkennbar. Will man ihn aber deutlich wahrnehmen, so kann man das sehr leicht, wenn man den Kehlkopf mit dem ärztlichen Hörrohr, dem Stethoskop, behorcht (auskultiert); besonders mit dem Phonendoskop ist auch bei sehr leisem Glottisschlag der Knall in unverminderter Stärke zu Gehör zu bringen. Diese feineren Untersuchungsmittel sind nicht überflüssig, da nicht nur für den Gesang der Stimmknall (außer beim Stakkato) durchaus verpönt ist, sondern auch bei einer Reihe von Stimm- und Sprachfehlern der Kranke selbst imstande sein muß, den Stimmknall bei sich, wenn nicht durch die immerhin sehr unsicheren Muskel- und Lageempfindungen des Kehlkopfes, so doch durch sein eigenes Gehör zu erkennen. Nach dem Glottisschlag schwingen die Stimmlippen in der bei der Schwingung des Brustregisters beschriebenen Weise, so daß dieser erste Stimmlippenschluß gegenüber den folgenden eigentlich nur als ein etwas festerer angesehen zu werden braucht, der übrigens auch zeitlich manchmal

ein wenig länger von dem nächstfolgenden Stimmlippenschluß entfernt ist, als die folgenden Schlüsse untereinander. (Siehe weiter unten die Versuche mit den Marbeschen Figuren.)

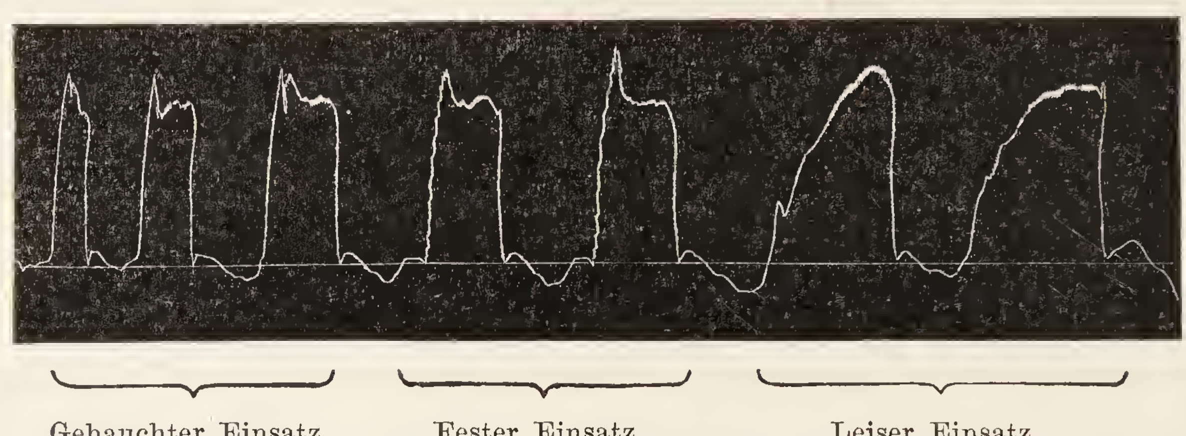
Der leise Stimmeinsatz, der beim Gesang ganz besonders und mit Recht bevorzugt wird, besteht darin, daß sich die Stimmlippen bis in die zum Tönen verengte Stellung parallel aneinanderlegen, so daß nur der längliche, schmale elliptische Spalt zwischen ihren Innenrändern offen bleibt. Jetzt erfolgen auf das stärkere Anblasen hin sofort die abwechselnden Schlüsse und Öffnungen, welche den Ton hervorrufen. Man kann demnach den Unterschied des festen vom leisen Stimmeinsatz so kennzeichnen, daß man sagt: während der feste Stimmeinsatz aus der Phase des Stimmlippenschlusses beginnt, beginnt der leise Stimmeinsatz aus der Phase des Offenstehens der Stimmlippen. Jedenfalls läßt sich das hier für den leisen Stimmeinsatz gegebene Verhalten bei geübten Rednern und Sängern ohne weiteres laryngoskopisch feststellen. Der feste „Unlusteinsatz“ erscheint in kurzen Ausrufen, wie z. B.: „Ach was!“ „I wo!“ „Au!“ Der leise „Lusteinsatz“ dagegen in langgezogenen Rufen, z. B.: „Ah! wie schön!“ oder als Beispiel eines leisen Konsonanteinsatzes das „Hm!“ des Feinschmeckers. Diese Unterschiede machen sich schon beim Säuglingsschrei und im Säuglingslallen deutlich bemerkbar, wie wir weiter unten sehen werden.

Sehr schön kann man diese drei Stimmeinsätze graphisch zur Anschauung bringen. Spricht man gegen irgend eine fein eingestellte Schreibkapsel und läßt die Vibrationen sich auf die berußte Fläche des Kymographions übertragen, so kennzeichnet sich der Hauch durch eine zunächst vibrationslos von der Nullinie aufsteigende glatte Kurve, der im Abstieg die Vibrationen erst folgen. Der feste Stimmeinsatz dagegen beginnt mit einer steilen Erhebung von der Nullinie, bei der schon im allerersten Beginn energische Stimmlippenschwingungen vorhanden sind. Fast das gleiche zeigt der leise Stimmeinsatz, nur mit dem Unterschied, daß die Erhebung von der Nullinie vibrationslos erfolgt, und daß die ersten Stimmlippenvibrationen nicht so scharf ausfallen, wie bei dem festen Einsatz.

Recht hübsche Figuren erhält man mit dem mehrfach schon erwähnten, aber noch nicht beschriebenen Marbeschen Verfahren. Karl Marbe benutzte die einfache Königsche Flamme, deren Verwendung aus der Physik wohl allgemein bekannt ist, indem er sie nur insofern etwas veränderte, als er den Raum im Innern der Kapsel möglichst klein machte und ein möglichst enges kapillares Zuleitungsrohr wählte. Statt des gewöhnlichen

Gases verwandte er jedoch Acetylengas, das sehr stark rußt, und führte nun über die durch die Stimme in Bewegung gesetzte Flamme einen Streifen Papier hinweg. Wenn die Flamme stillsteht, so zeigt sich ein einfacher glatter Rußstreifen; schwingt sie jedoch, so zeigen sich einzelne Rußringe, die sich geldrollenförmig überdecken. Die Königsche Flamme, die aus

Abb. 41.



einer Öffnung von 1 mm Durchmesser brannte, war ungefähr 50 mm hoch und beleckte mit ihrem oberen, 30 mm langen Ende das Papier. Gutzmann sen. verwandte nicht einen Papierstreifen des Telegraphenpapiers wie Marbe, sondern ließ den Ruß seiner Königschen Flamme auf ein wagerecht gestelltes Kymographion anlecken. Verschiebt man nun die Kymographiontrommel durch ein Gewinde wagerecht, so bekommt man eine spiralförmige, ziemlich lange Rußkurve. Wichtig ist, daß die Flamme nicht unmittelbar unter dem tiefsten Punkte des horizontal stehenden Kymographions

Abb. 42.

Fester Einsatz.

Leiser Einsatz.

angebracht werden darf, weil sonst die Rußringe nicht scharf genug werden. Weit hübschere Bilder bekommt man, wenn man sie ein wenig seitlich von der tiefsten Stelle des Kymographions, und zwar nach der Bewegungsrichtung des Papiers hin verschiebt. Sehr leicht kann man noch in diesem Rußstreifen selbst mit den bekannten Apparaten, z. B. dem Engelmannschen Chronographen, eine Zeitkurve aufzeichnen, so daß man gleichzeitig auch die Möglichkeit hat, die Tonhöhen ohne weiteres abzulesen. Wethlo gibt eine Versuchsanordnung mit zwei Flammen an, einem bekannten Kontrollton (Stimmgabel) und dem zu untersuchenden Ton. Aus dem Unterschied ergibt sich dann leicht die Höhe des untersuchten Tones. Seine Versuchsanordnung zeichnet sich dadurch aus, daß sie leicht beweglich und mit einfachsten Mitteln herstellbar ist. In den entstehenden Bildern kommt deutlich zum Ausdruck, daß sich bei dem fest eingesetzten *a* sofort ein

starker kräftiger Ring kenntlich macht, während bei den leisen Einsätzen die ersten Rußringe gleichsam verwischt auftreten.

Am schönsten aber sind Aufnahmen, die J. Seemann mit dem Frankschen Apparat gemacht, und die u. a. lehren, daß die eigentlichen Vokalschwingungen erst $^1/_{60}$ Sekunde nach dem Kehlkopfexplosionslaut (spiritus lenis) eintreten, und daß der gehauchte Einsatz etwa $^1/_4$ Sekunde dauert.

Wie der Stimmeinsatz, so kann auch der Stimmabsatz verschieden sein, die Art, wie die Stimme aufhört. Ein kurz gesprochenes Ja z. B. hört man nicht selten mit Coup de glotte abbrechen, besonders im Schwedischen und nicht selten bei Sängern, während es gewöhnlich in leisem Absatz ausklingt.

6. Stimmlage und Stimmumfang.

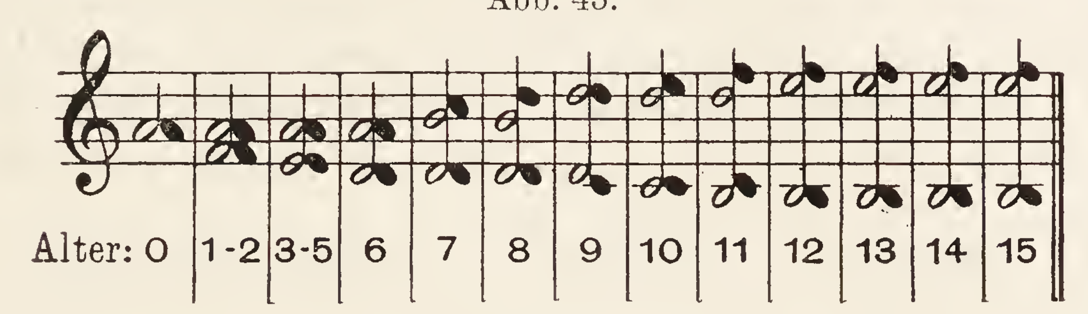
Die Stimme des Neugeborenen und des Säuglings wurde von Gutzmann sen. in Gemeinschaft mit Flatau untersucht. Sie nahmen die Schreie der Neugeborenen und Säuglinge der Ohlshausenschen Frauenklinik phonographisch auf und bestimmten sie sodann durch Abhören der Walzen unter mehrfacher gegenseitiger Kontrolle. Im ganzen waren es 30 Aufnahmen, die sich auf 17 Mädchen und 13 Knaben bezogen. Es zeigte sich, daß der erste Schrei in seiner charakteristischen Eigenart, zunächst etwas gedämpft durch Schleimmassen und von Rasselgeräuschen begleitet, erst allmählich sich klärte und verstärkte. Man konnte dann bald ruhigere, gesangähnliche Töne von den Preßtönen unterscheiden, die mehr oder weniger stark von Begleitgeräuschen verdeckt waren und manchmal zu völligem Preßgeräusch mit krächzendem Charakter wurden. Sehr häufig wurde das Schreien von einleitenden Vokalbildungen vorbereitet, so durch ein weiches *i* oder *u*, aus welch letzterem manchmal eine Art von Lippen-*w* wurde. Ferner wurde der dritte Nasallaut, manchmal auch der zweite Nasallaut vorangesetzt. Auf diese Weise kamen Schreie zustande, die wie *ia*, *oa*, *ua*, *wa*, *nga*, *nä* usw. klangen. Besonderes Interesse hat aber an dieser Stelle die Höhe und der Umfang der ersten kindlichen Stimmleistungen. Es zeigte sich nämlich, daß bei der großen Mehrheit der Aufnahmen sich a^1 und h^1 als Hauptton zeigten (bei 17), während eine weniger große Zahl (10) vorwiegend in der zweiten Oktave schrie. Der Umfang betrug gewöhnlich zwei bis drei Halbtöne, in 18 Fällen von 30. Darüber hinaus bis zu einer Quint nur in 12 Fällen; eine Vergrößerung des Umfanges stellte sich durch die sehr häufigen bei Einatmung erzeugten Töne beim ersten kindlichen Schreien heraus, ferner durch die Pfeiftöne, die

man ebenfalls gar nicht selten hört. So konnten Flatau und Gutzmann sen. bei einem 36 Stunden alten Knaben einen Pfeifton phonographisch aufnehmen, der dem e^4 entsprach, während er gewöhnlich in der zweigestrichenen Oktave schrie. Ein $3^1/_2$ Tage alter Knabe brachte einen Pfeifton hervor in der Höhe des h^3. Mit dem Einatmungston wurde ebenfalls einigemal die dreigestrichene Oktave erreicht.

Der leise Stimmeinsatz war überwiegend. Jedoch ändert sich um die fünfte Woche herum das Schreien des Säuglings, da es um diese Zeit vorwiegend als Unlustäußerung auftritt, während es früher nichts weiter als eine reflektorische Erscheinung war. Es ist nun interessant, zu sehen, wie in dieser Zeit, wo auch als Lustäußerung das erste Lallen aufzutreten pflegt, aus einer Reihe von lallend produzierten Vokalen mit leisem Stimmeinsatz allmählich Vokale mit härterem und schließlich mit ganz hartem und festem Stimmeinsatz hervorgehen, und wie es dann niemals mehr lange dauert, bis das Kind kräftig zu schreien anfängt. Man könnte demnach, wie Gutzmann sen. es vorschlug, den leisen Stimmeinsatz als den Lusteinsatz im Gegensatz zum harten als Unlusteinsatz bezeichnen. Bis zum Schulalter pflegt das Lallen des Kindes, das sich oft als ein halbes Singen darstellt und bekanntlich von einem normalen Kinde den ganzen Tag über geübt wird, wenn es nicht gerade schläft, stets in den Grenzen des genannten Stimmbereichs hervorgebracht zu werden. Es überschreitet sie nur dann, wenn irgend ein äußerer Anlaß zum Aufschreien vorliegt: Lust- oder Unlustschrei. Gewöhnlich halten sich die Lallmonologe auf den Tonhöhen fis^1, dis^1, f^1, d^1, e^1, manchmal sogar c^1, und gehen gelegentlich bis zu dem a^1 des Anfangsschreies wieder in die Höhe oder überschreiten sie auch um einen oder zwei halbe Töne. Diese von Gutzmann sen. beobachteten Durchschnittsumfänge der Kinder bis zum 4. und 5. Lebensjahr stimmen mit jenen von Garbini gegebenen ziemlich gut überein. Erst vom 6. Lebensjahr an stehen uns größere Untersuchungsreihen über die Tonumfänge zur Verfügung, so die von Vierordt, Engel, Treitel, Lennox-Browne, Paul Koch, Weinberg, Fröschels, Flatau und Gutzmann sen. u. a. Die größte Zahl von Untersuchungen des Stimmumfanges von Kindern hat Paulsen gemacht. Seine Untersuchungen erstrecken sich auf etwa 3000 Schulkinder, und besonders eine Tabelle, in die er die Stimmumfänge eintrug, die ungefähr 75 bzw. 25 % jedes Jahr-

ganges gemeinsam sind, wird stets eine wichtige Unterlage für die an die Stimmorgane der einzelnen Schulstufen zu stellende gesangliche Aufgabe bleiben. Es mag deshalb die von Paulsen gegebene Tabelle der Stimmumfänge vom 6. bis zum 15. Lebensjahr hier folgen. Wenn wir nun dasjenige, was wir von der Tonhöhe

Abb. 43.

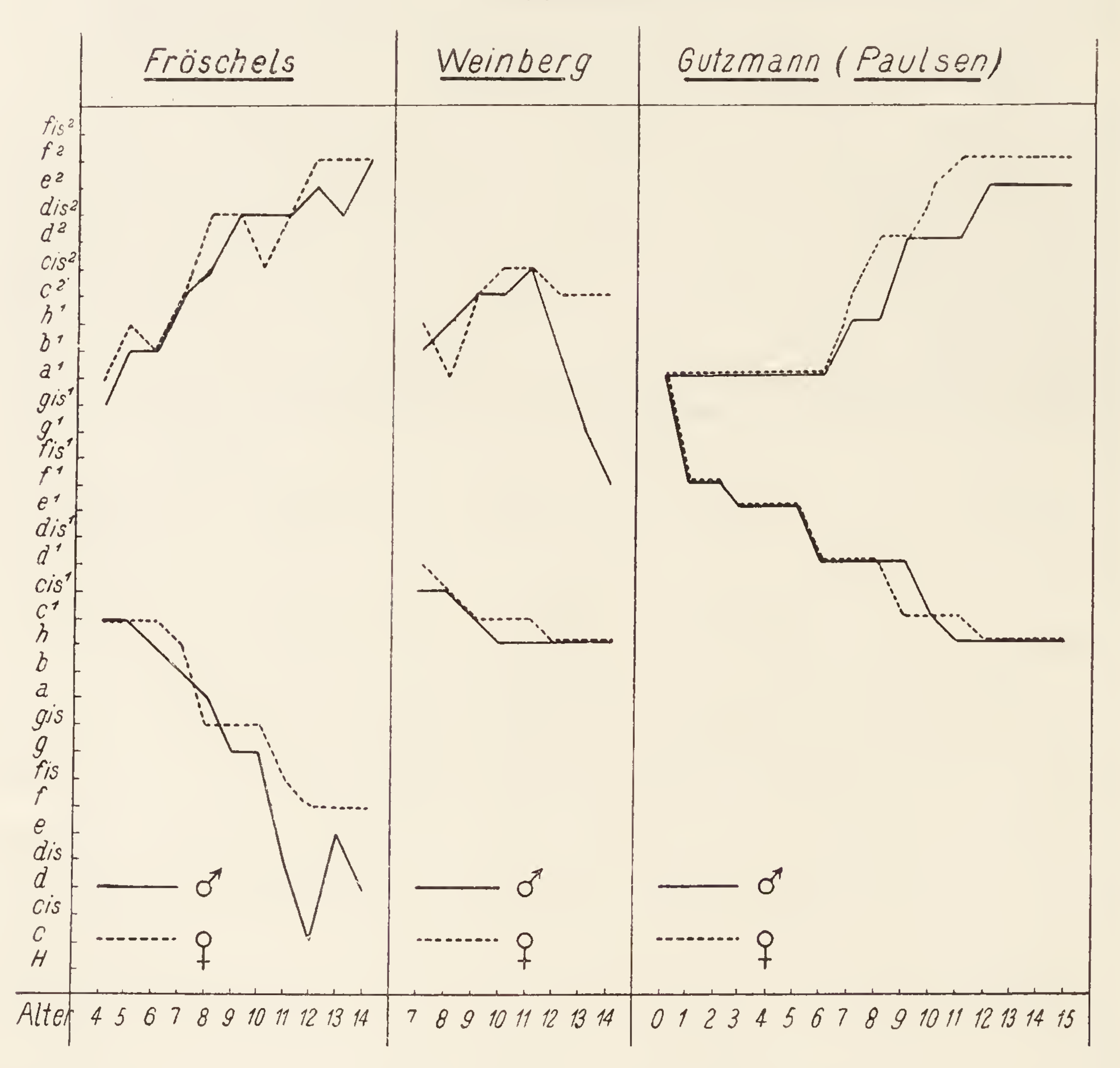


der Säuglinge und der Tonhöhe der vorschulpflichtigen Kinder bis zum Schuleintritt wissen, mit den Paulsenschen Ergebnissen zusammennehmen und in einfacher Weise die Entwicklungsreihe der Tonumfänge durch Noten darstellen, so bekommen wir die obige sehr übersichtliche Kurve der Stimmumfänge, in welcher die halben Noten die Knaben, die Viertelnoten die Mädchen bedeuten.

Jahr	Knaben		Mädchen	
	75 %	25 %	75 %	25 %
6	d^1—a^1	d^1—c^2 c^1—g^1	d^1—a^1	d^1—c^2 c^1—h^1
7	d^1—b^1	d^1—d^2 c^1—a^1	d^1—c^2	c^1—f^2
8	d^1—h^1	d^1—e^2 c^1—c^2	d^1—d^2	h—f^2
9	d^1—d^2	h—f^2	c^1—d^2	h—f^2 b—es^2
10	c^1—d^2	b—f^2	e^1—c^2	h—g^2
11	h—d^2	a—e^2 h—g^2	c^1—f^2	b—g^2 a—e^2
12	h—e^2	a—f^2 b—g^2	h—f^2	a—g^2
13	h—e^2 b—es^2	a—g^2	h—f^2	a—a^2
14	b—e^2	g—es^2 a—g^2	h—f^2	h—a^2 a—g^2
15	h—e^2	g—f^2 a—g^2	h—f^2	h—gis^2 as—f^2

Weinberg hat 800 Kinder auf Tonumfänge hin untersucht. Sie standen im Alter von 7 bis 14 Jahren. Von jedem Jahrgang untersuchte Weinberg 100 Kinder, die er nur nach dem Alter, nicht aber nach der Stimme aussuchte. Seine Feststellungen habe ich in der untenstehenden Kurve festgehalten (Abb. 44). Er legte Wert darauf, daß die Umfangsbestimmungen ohne Anstrengung von seiten der Kinder stattfanden und ging deshalb vom phonischen Nullpunkt aus. Als Schrittmacher benutzte er gleichaltrige stimmbegabte

Abb. 44.



Kinder und ließ auf einem weich ansetzenden Vokal *a*, der bequem kreszendiert werden konnte, Durverbindungen von 3 bis 4 Tönen, keine Skala, singen. Als Nebenbefund stellte er fest, daß Mädchen besser artikulieren als Knaben. Weiter sagt Weinberg: „Bei allen diesen Untersuchungen spielen Rasse, Klima und viele andere Faktoren ihre Rolle, und es geht nicht an, ohne weiteres auf die Stimmen der Kinder in Schweden beispielsweise die in Rußland gefundenen Resultate anzuwenden. Ein besonderes Interesse dürften

meine Untersuchungen dadurch besitzen, daß sie an »rassereinem Material« angestellt worden sind."

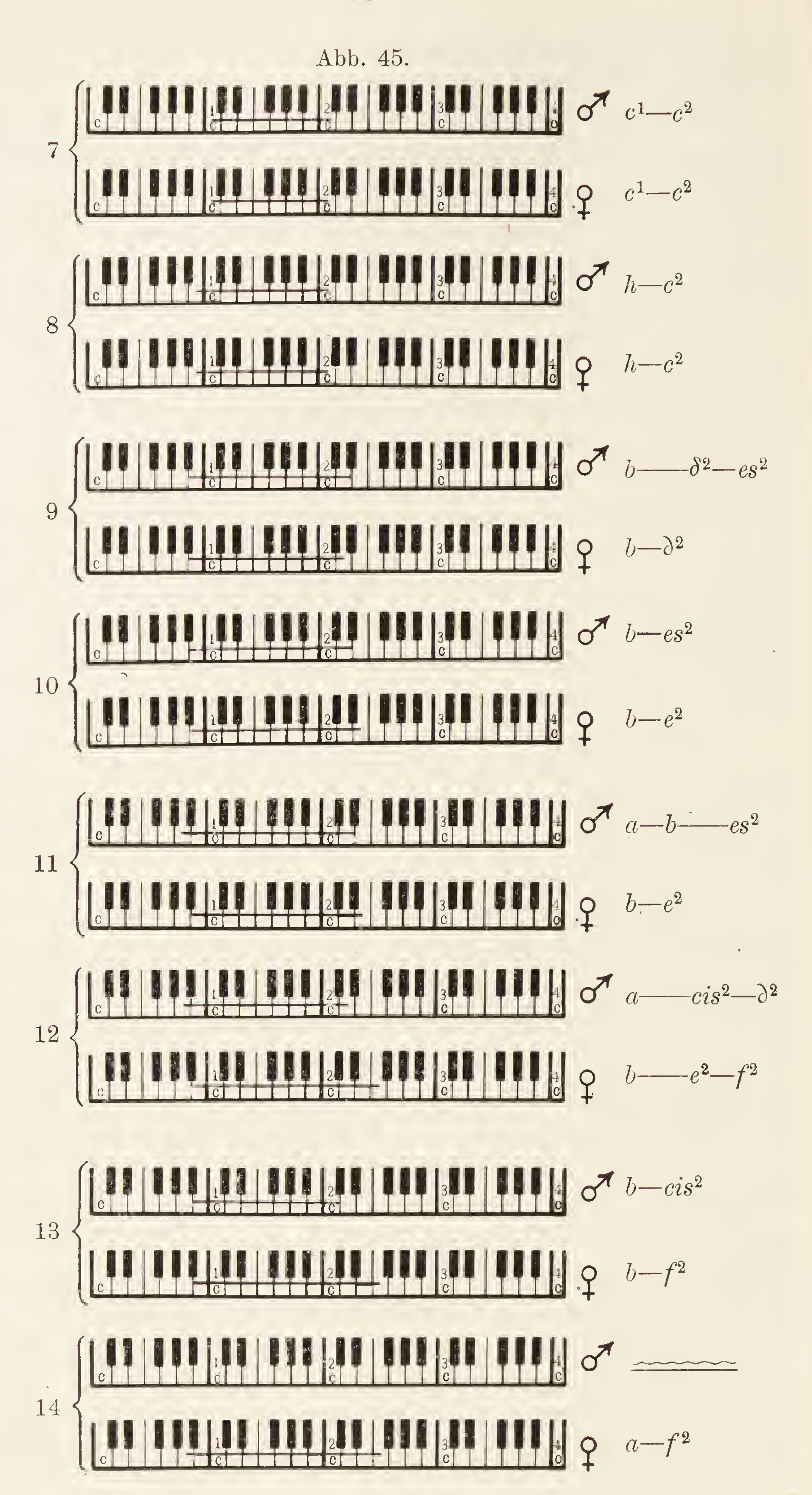
Fröschels hat ähnliche Untersuchungen an Wiener Kindern angestellt. Sein Material umfaßt aber nur 380 Kinder, die ungleichmäßig über die verschiedenen Altersstufen von 4 bis 14 Jahren verteilt waren. Er ließ von c^1 an die Skala aufwärts und abwärts singen. Als Schrittmacher wurde ein Erwachsener, in seltenen Fällen ein gleichaltriges Kind benutzt. Es wurde auf den Vokalen *A*, *I* und *U* gesungen. Auf welchen von diesen sich die berechneten Stimmumfänge beziehen, wird nicht gesagt. Die in der Tabelle angegebenen Durchschnittswerte ergaben sich aus der Summierung der Stimmumfänge der gleichgeschlechtlichen Kinder gleichen Alters nach Division durch die Anzahl derselben. Die Unterschiede der drei Kurven sind nicht allzu groß. Nur Fröschels erreicht eine sehr große Tiefe. Die Rassenunterschiede genügen nicht allein zur Erklärung. Während Weinberg und Paulsen für ihre Kurve nur die Töne benutzen, die von allen Kindern erreicht werden, stellen Fröschels Kurven rechnerische Durchschnittswerte dar, sind also anders berechnet als jene von Flatau und Gutzmann, Paulsen und Weinberg.

Als Maßstab der Tongrenzen, die beim Schulgesang nicht über- bzw. nicht unterschritten werden sollten, gebe ich die von Weinberg aus der Mittelzahl der gemeinsamen und der am häufigsten gesungenen Töne errechneten Tabellen, nach Geschlecht und Alter getrennt, unten wieder (Abb. 45).

Untersuchungen, die Gutzmann sen. mit Flatau gemeinschaftlich über die Singstimme des Schulkindes anstellte, hatten Ergebnisse, die mit den Paulsenschen bezüglich der Stimmumfänge durchaus übereinstimmten. Sie stellten ihre Umfangsuntersuchungen an 575 Schulkindern an, bei denen in 166 Fällen auch die laryngoskopische Untersuchung ausgeführt werden konnte bzw. durfte (!). Darunter konnten sie auch einigemal das schon erwähnte Pfeifregister untersuchen, das zuerst von Semon, sodann von P. Schultz und Lüders beschrieben worden ist. Schultz beschreibt die Glottis als klein und rautenförmig, wobei Schwingungen nicht sichtbar waren, so daß wahrscheinlich eine ähnliche Wirkung zustande kam, wie bei der Labialpfeife. In seinem Falle umfaßt das Pfeifregister die Töne g^2 bis f^4. Flatau und Gutzmann sen. konnten das Pfeifregister im ganzen bei 14 Kindern feststellen, und zwar bei 4 Knaben und 10 Mädchen.

Einige wichtige physiologische Veränderungen macht die Stimme in der Zeit der Pubertät durch. Der Kehlkopf wächst

Abb. 45.

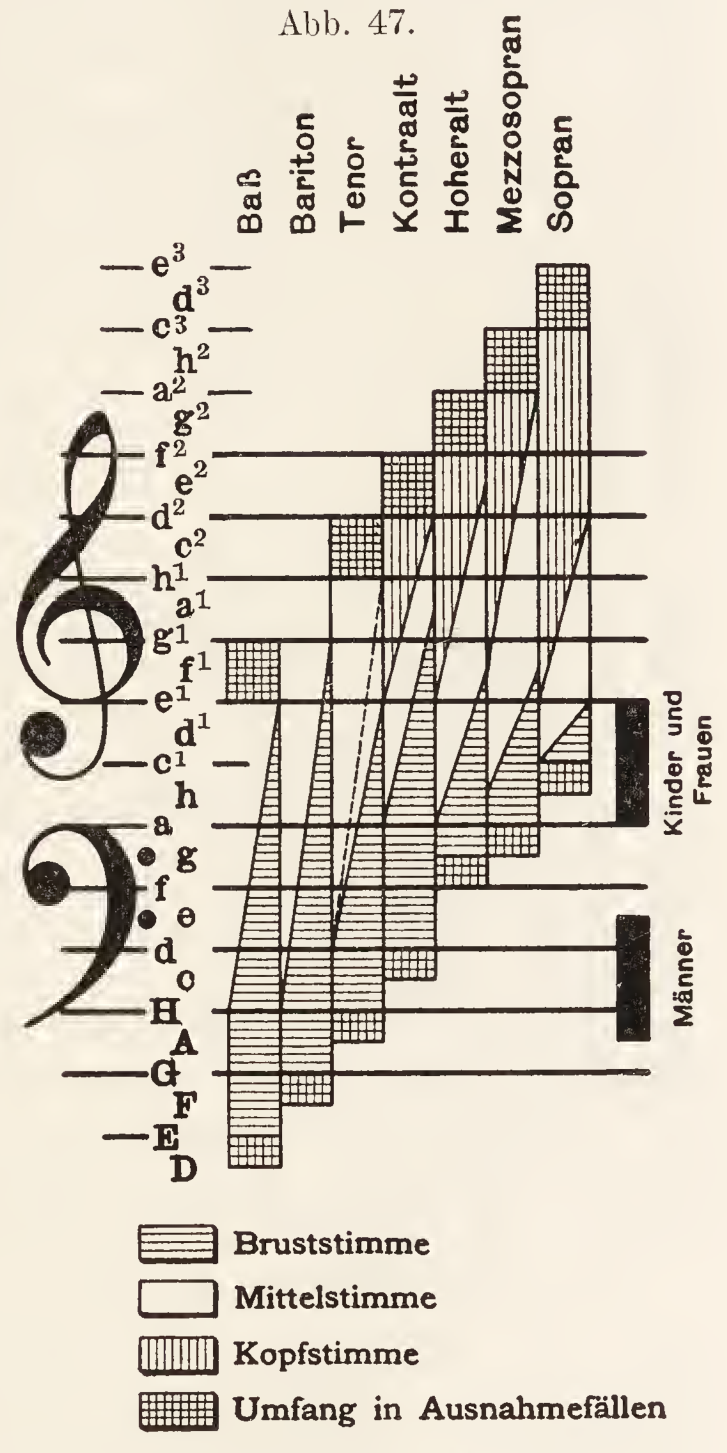

7
♂ c¹—c²
♀ c¹—c²
8
♂ h—c²
♀ h—c²
9
♂ b——d²—es²
♀ b—d²
10
♂ b—es²
♀ b—e²
11
♂ a—b——es²
♀ b—e²
12
♂ a——cis²—d²
♀ b——e²—f²
13
♂ b—cis²
♀ b—f²
14
♂
♀ a—f²

beim männlichen Geschlecht in rascher Weise innerhalb einer verhältnismäßig kurzen Zeit, so daß die Stimmlippen um ein Drittel ihrer Länge zunehmen. Auch beim weiblichen Geschlecht findet sich eine Stimmänderung, wenn dieselbe auch nicht so erheblich ist, und wenn auch das Wachstum des Kehlkopfes durchaus nicht annähernd die Unterschiede aufweist, wie wir sie beim männlichen Geschlecht vorfinden.

Abb. 46.



Abb. 47.

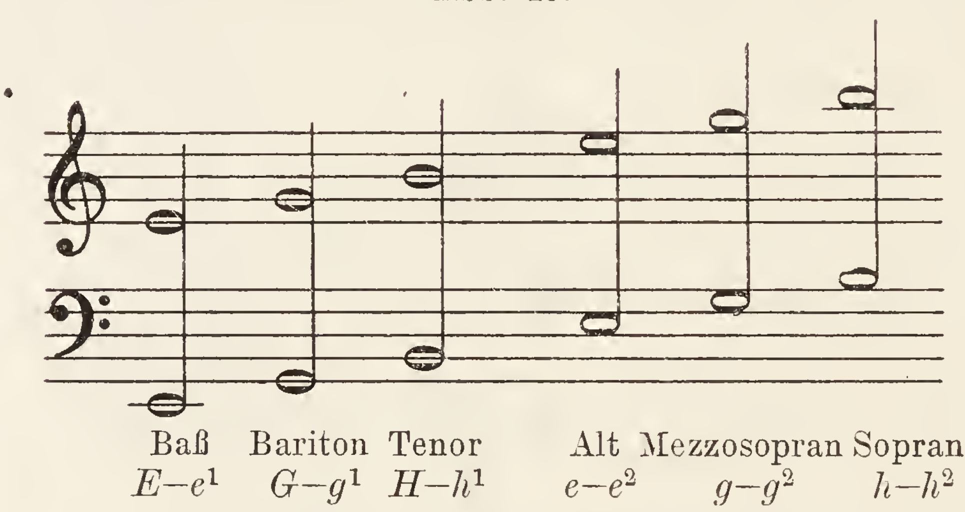


Nach Spiess und M. Schmidt.
Die schwarzen Umfänge beziehen sich auf die Sprechstimme.

Die beistehende Abbildung gibt einen Überblick über die Verschiebung der Stimmlagen beim männlichen und weiblichen Geschlecht unter dem Einfluß der Veränderung der Stimme in der Pubertätszeit. Man sieht, wie die durchschnittliche Lage der Männerstimme gegenüber der Frauenstimme um eine Oktave nach unten verschoben ist. Die Stimmen der erwachsenen Menschen sind in ihrem Umfang durch die beistehende Abbildung, die nach Angaben von Stockhausen durch Spiess und Moritz Schmidt aufgestellt wurde, wiedergegeben. Außerdem gibt es noch eine Reihe ähnlicher schematischer Darstellungen, die auch nur den Zweck eines didaktischen Übersichtsbildes haben und nicht im Sinne starrer Gesetzmäßigkeit aufzufassen sind. Die individuellen Höhen- und Klangunterschiede werden als Baß,

Bariton, Tenor, Kontraalt, hoher Alt, Mezzosopran und Sopran bezeichnet. Begnügt man sich mit der Bezeichnung Baß, Bariton, Tenor, Kontraalt, Alt, Sopran und ihrem durchschnittlichen Tonumfang, so gibt das nachstehende Notenbeispiel in einfach zu behaltender Weise die Verhältnisse wieder. Danach reicht der Baß von *E* (81,5 Schwingungen) bis zum e^1 (325,9 Schwingungen), der Bariton von *G* (96,9 Schwingungen) bis g^1 (387,5 Schwingungen), der Tenor endlich von *H* (122 Schwingungen) bis h^1 (488,3 Schwingungen). Die drei Frauenstimmlagen sind um eine Oktave nach oben verschoben, so daß der Kontraalt von *e* (162,9 Schwingungen) bis e^2 (651,8 Schwingungen), der Alt von *g* (193,8 Schwingungen) bis g^2 (775,1 Schwingungen) und der Sopran von *h* (244,1 Schwingungen) bis h^2 (976,5 Schwingungen) reicht.

Abb. 48.

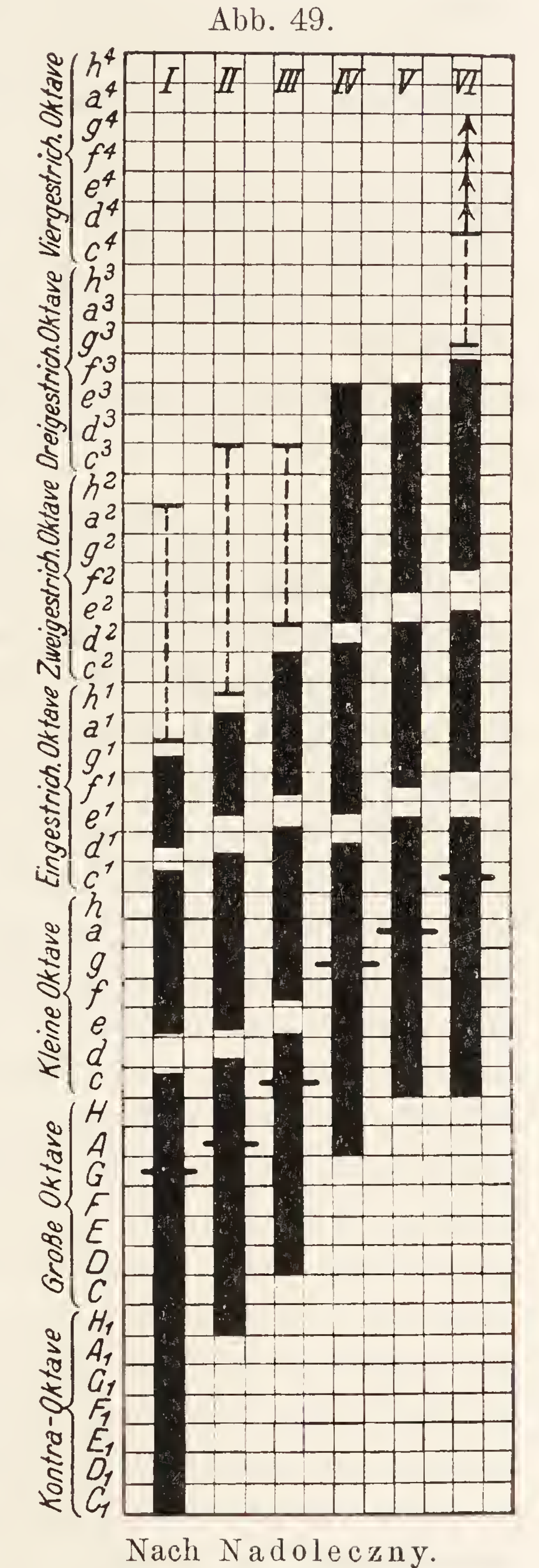


Bei dem einzelnen Individuum beträgt der Stimmumfang meist ungefähr 2 Oktaven, bei Kunstsängern bedeutend mehr, bis zu 4 Oktaven. Der Stimmumfang, den menschliche Stimmorgane insgesamt umspannen können, beträgt nach Nadoleczny etwa $6^1/_2$ Oktaven, von Kontra *C* (C^1 mit 32,33 v. d.) bis g^4 (3100 v. d.).

Die Sprechstimme bewegt sich gewöhnlich an der unteren Grenze des Tonumfanges, und selbst die im ruhigen affektlosen Reden eintretenden Kadenzen eingerechnet, liegt sie gewöhnlich beim Manne von *A* bis *d* bzw. nach Paulsen *e*, bei der Frau von *a* bis d^1 bzw. e^1 (s. Abb. 47). Wesentlich größere Sprechstimmkadenzen brauchen Berufsredner und Schauspieler. Die Stimmnote des Boekeschen Knaben schwankte beim gewöhnlichen Sprechen zwischen 410 und 366 Schwingungen, d. h. annähernd zwischen a^1 und f^1, die Stimmnote der Frau zwischen e^1 und *ais*. Es scheint, daß sich die durchschnittliche Stimmlage des Knaben wesentlich zu hoch ergeben hat durch die Fehler, die überhaupt die phono-

graphische Aufnahme mit sich bringt: weil man in den phonographischen Trichter hineinspricht, spricht man zu laut und zu hoch. Daß dieser Fehler gleichmäßig bei phonographischen Aufnahmen vorkommt, beweisen die sonstigen Angaben Boekes. Er fand bei einem Manne mit ausgeprägter Baßstimme, der sämtliche Vokale bis zum *C* (64 Doppelschwingungen) noch deutlich singen konnte, eine durchschnittliche Sprechstimme von *c* bis *f*, während für die durchschnittliche Stimmnote eines Franzosen, der wahrscheinlich Tenor war, *b* bis d^1 aufgefunden wurde. Dasselbe ist offenbar der Fall bei der eigenen Stimme Boekes, denn er findet seine eigene Stimme nach den phonographischen Ausmessungen im Durchschnitt zwischen *fis* und *ais*, also eine Oktave tiefer als die des 13 jährigen Knaben. Dagegen stimmt die Stimmnote der Frau recht gut mit den bekannten, oben angegebenen Durchschnittslagen der Frauenstimme, die sich mit denen der Kinderstimme durchaus decken, überein. Nach Nadoleczny liegt die mittlere Sprechstimmlage beim Baß um *Gis* und *A*, beim Bariton um *A* und *H*, beim Tenor um *H* und *c*, beim Alt um *gis* und *a*, beim Mezzosopran um *a* und *h*, beim Sopran um *h* und c^1. Die Art und Weise, wie die Stimme im Sprechen selbst schwankt, werden wir später bei der Darstellung des Akzentes noch näher zu würdigen haben.

Abb. 49.



Nach Nadoleczny.

Bernstein und Schläper haben durch umfangreiche statistische Untersuchungen an nicht ausgebildeten Sängern festgestellt, daß sowohl die Masse der Männerstimmen wie die der Frauenstimmen in zwei deutlich getrennte Gruppen zerfällt, die gewöhnlich

als Baß und Tenor, Alt und Sopran bezeichnet werden. Das Verhältnis Baß : Tenor ist gleich Sopran : Alt und bei Annahme von 0,85 % infantiler Stimmen durch 5 : 1 hinreichend genau wiedergegeben. Bernstein fand ferner auf Grund der Mendelschen Vererbungslehre, daß die halbe Zahl der Baritonisten bzw. Mezzosopranistimmen gleich der Quadratwurzel aus dem Produkt der Zahl der Bässe und Tenöre bzw. Soprane und Alte ist. Weitere Forschungen in verschiedenen Gegenden Deutschlands und Italiens überzeugten Bernstein, daß jenes erwähnte Verhältnis von 5 : 1 der Baß-Sopranrasse sich bei den nordischen Rassen findet, während der Alt-Tenorrasse (Mittelmeerrasse) ein Verhältnis von etwa 1 : 6,5 (Sopran : Alt) entspricht.

7. Flüstern und Bauchrednerstimme.

Von ungewöhnlichen Arten, die Stimme zu gebrauchen, erwähne ich hier nur das Flüstern und das Bauchreden. Das Flüstern geschieht, indem die austretende Luft sich zwischen den einander genäherten Stimmlippen reibt. Gewöhnlich stellen sich die Stimmlippen dabei so, daß ihre vorderen Teile aneinanderliegen, während die Gießbeckenknorpel in Form eines kleinen Dreiecks voneinander entfernt stehen. Die Stimmritze bildet so ein umgekehrtes Y. Die Luft streicht scharf durch dieses Trigonum intercartilagineum hindurch. Im Kehlkopfspiegel stellt sich das, was wir flüstern nennen, auch noch in anderen Bildern dar. Zunächst muß man streng sondern zwischen Hauchen und Flüstern. Beim Hauchen sehen wir die Stimmlippen stets in Form eines langen gleichschenkligen Dreiecks, dessen beide Schenkel die gesamten Stimmlippenlängen bilden. Beim echten Flüstern, wie es z. B. vom Ohrenarzt bei der Hörprüfung angewendet wird, treten die Mm. crico-arytaenoidei laterales in Tätigkeit. Die beiden Processus vocales legen sich eng aneinander und damit wird auch die ligamentöse Stimmritze geschlossen, so daß nur das kleine interkartilaginöse Dreieck offen bleibt. Wenn man dagegen vom gewöhnlichen Hauchen ausgeht, so kommt man leicht zu einer allmählichen Verengerung jenes vorher erwähnten großen gleichschenkligen Dreiecks und bei sehr starkem Grade der Annäherung der beiden Schenkel zu einer so starken Verschmälerung, daß sich dabei ebenfalls eine Art von Flüstern hörbar macht. Dieses Flüstern hat aber einen deutlich hauchigen Charakter und ist weniger weit hörbar als das echte Flüstern. Dafür kommt es aber bei der

allmählichen Annäherung der Stimmlippen leicht zu einer schwachen wirklichen Stimme, so daß eine von Hauch begleitete Stimme ertönt. Letzteres ist besonders bei dem Ungeübten der Fall, wenn man ihn auffordert, einen Vokal lange flüsternd auszusprechen.

Entsprechend diesen verschiedenen Vorgängen finden wir ein verschiedenes Verhalten von Druck und Atemvolumen, sowie für ihr gegenseitiges Verhältnis.

Bei jeder Art von Flüstern ist der subglottische Druck selbst gegenüber leiser Stimmgebung außerordentlich niedrig, das geatmete Luftvolumen dagegen für je 1 cm Druckwert sehr hoch. Am niedrigsten ist letzteres bei demjenigen Flüstern, das leicht stimmhaften Beiklang erhält, weit höher bei reinem Flüstern. Bei diesem beträgt das Volumen für 1 cm Druck das Fünf- bis Sechsfache des bei lauter Stimme hergegebenen.

Das Flüstergeräusch ist in seiner Höhe an sich nicht variabel, die Höhe desselben hängt von der durch das Flüstern angeblasenen Ansatzröhre ab. So steigt das Flüstergeräusch in seiner Höhe bei den fünf einfachen Vokalen des Alphabets in folgender Weise: *u*, *o*, *a*, *e*, *i*. Bemerkenswert ist, daß Donders aus diesem Ton des Flüstergeräusches seine Vokaltheorie ableitet.

Daß es möglich ist, dieses Flüstergeräusch auch ohne Kehlkopf im Ansatzrohr künstlich zu erzeugen und so gleichsam ohne Mitwirkung des Kehlkopfes zu sprechen, zeigt 1829 bereits Deleau, der ausführlich in dem bekannten Werke von Bennati (Die physiologischen und pathologischen Verhältnisse der menschlichen Stimme, 1833) zitiert und nachgeprüft ist. Deleaus Verfahren beschreibt er selbst wie folgt: „Man führe eine elastische Röhre, welche der in einem Gefäße in komprimiertem Zustande enthaltenen Luft den Austritt verstattet, durch ein Nasenloch bis in den Schlund. Sobald man fühlt, daß die Luftsäule dessen Wandungen berührt, so halte man den Atem an sich und setze die Sprachwerkzeuge in Bewegung, wobei man so verfährt, als wollte man die den Lungen entströmende Luft zurückdrücken; man wird dann leise reden und deutlich alle Teile jedes Wortes unterscheiden können. Weil ich indessen fürchtete, bei dem Versuche, die Tätigkeit der Lungen zu unterbrechen, während ich die Sprachwerkzeuge gebrauchte, mir zu schaden, so sprach ich mit lauter Stimme, ließ aber zu gleicher Zeit den durch die Nase vermittelten Luftstrom in voller Stärke wirken. Alsdann ertönten gleichzeitig zwei gleichlautende Wörter, so daß alle Anwesenden glaubten, zwei Personen reden zu hören. Durch diesen Versuch ist es wohl hinlänglig bewiesen, daß der Kehlkopf zum Sprechen nicht unumgänglich und in allen Fällen nötig ist." Deleau schloß also während des ersten Versuches seine Stimmlippen und bewegte nur die Artikulationswerkzeuge in der zum Sprechen nötigen Weise, wobei dann die einzelnen Artikulationshöhlen durch das künstliche Flüstergeräusch angeblasen wurden.

Die Bauchrednerstimme ist von Flatau und Gutzmann sen. in einer ausführlichen Monographie in ihrer Entstehung näher geschildert worden. Die Stimmbildung selbst geht dabei durch ziemlich starke Aneinanderpressung der Stimmlippen gepreßt und gleichzeitig durch die sehr starke Annäherung der Taschenlippen und das gleichzeitige Überdecken des Kehldeckels gedämpft vor sich, so daß sie mehr oder weniger fern erklingt. Das Nähere möge man in der ausführlichen Veröffentlichung nachlesen.

II. Physiologie der Sprachlaute.

A. Anatomische Vorbemerkungen.

Betrachten wir die nachstehende Abbildung! Sie stellt einen Mediandurchschnitt durch das Gesicht dar bis zur Wirbelsäule. Wir erkennen sehr leicht nach unseren bisherigen Darstellungen den Kehlkopf und sehen, wie der Kehldeckel an der Zunge befestigt ist. Wir nennen nun alles das, was sich oberhalb der Stimmlippenebene befindet, Ansatzrohr. Während der

Abb. 50.



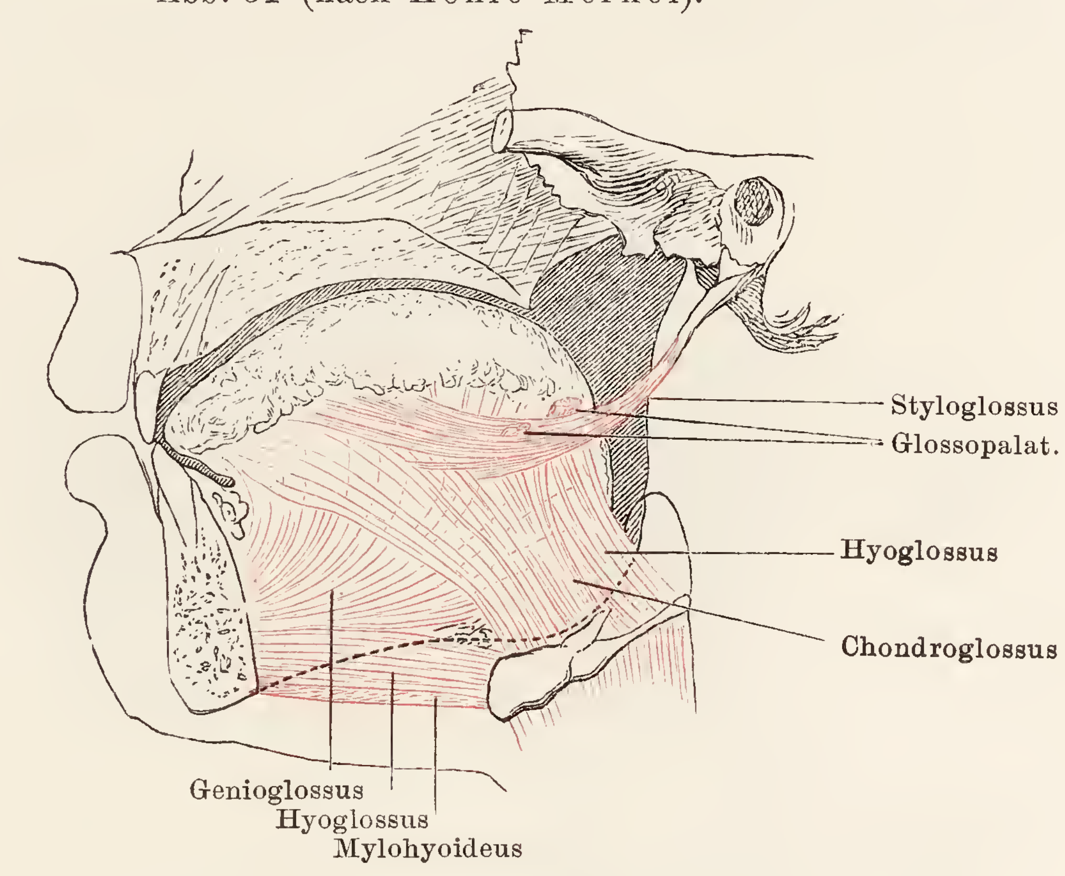
Mediandurchschnitt durch den Kopf bei herabhängendem Gaumensegel.

Kehlkopf das stimmgebende Organ ist, ist das Artikulationsrohr oder das Ansatzrohr u. a. dazu bestimmt, diese Stimme zu verändern. Schon bei der ersten oberflächlichen Betrachtung dieses „inneren Gesichts des Menschen“ erkennen wir, wie außerordentlich kompliziert und wie merkwürdig architektonisch gegliedert es gegenüber dem äußeren Gesicht ist. Findet sich doch

hier ein ganzes Höhlensystem, und zeigt doch jede einzelne Höhle so außerordentlich viele Einzelheiten, daß eine klare Übersicht erst gelingt, wenn man die Haupthöhlen gegeneinander abgliedert.

Die bekannteste ist unten die Mundhöhle. Wir sehen die Lippen, die Zähne, den Durchschnitt der Zunge, wir erkennen die Gaumenmandel. Nach oben hin ist die Mundhöhle abgeschlossen durch den Gaumen, der gewissermaßen die Decke oder den Himmel der Mundhöhle bildet. Gleichzeitig ist er jedoch der Boden der Nasenhöhle, die wir darüber in ihrer eigentümlichen Bildung von der Seite her erblicken. Das Dach der Nasenhöhle ist der vorderste Teil der unteren Schädelwandung; es sitzt also

Abb. 51 (nach Henle-Merkel).



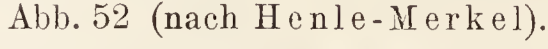
Verlauf der extraglossalen Zungenmuskulatur, halbschematisch.

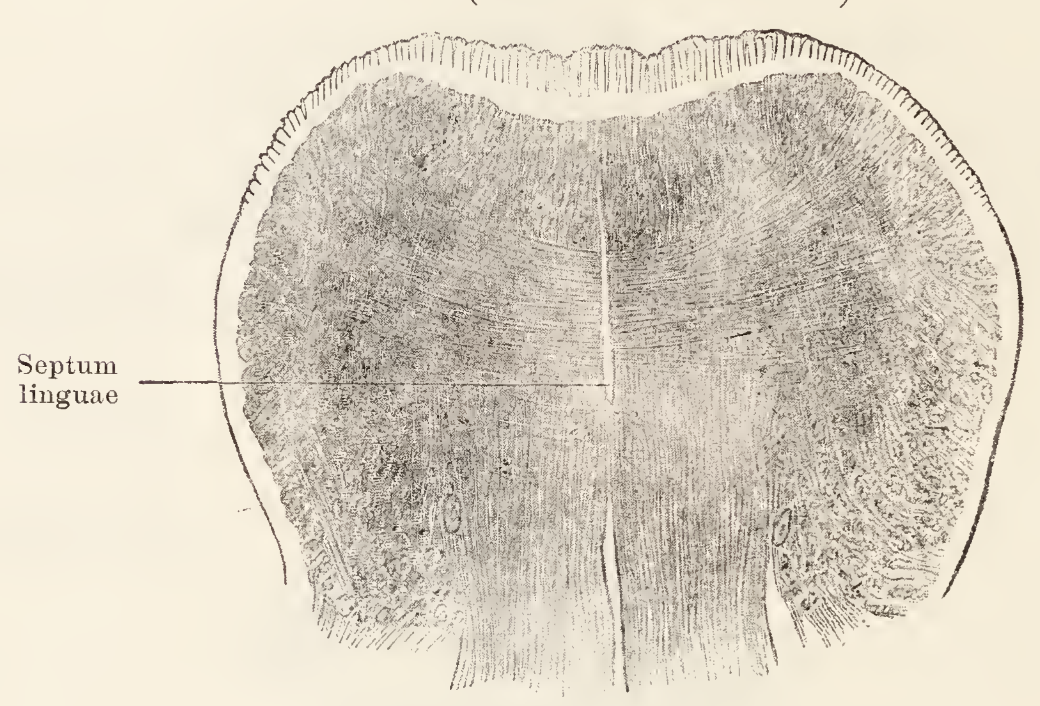
über dem Dach der Nasenhöhle, nur durch den hier eigentümlich geformten Knochen von derselben getrennt, das Vorderhirn. An den vorderen Teil des Nasendaches grenzt die Stirnhöhle an, die sich als eine Aushöhlung des hier sehr starken Schädelknochens zeigt; weiter hinten liegt, ebenfalls als eine Aushöhlung im Knochen, die Keilbeinhöhle. Ziehen wir in der Abbildung von dem vorderen Rande der Keilbeinhöhle bis zum vorderen Ende der Stimmlippen eine gerade Linie, so trennen wir die Mund- und Nasenhöhle einerseits von einer langgestreckten Höhle andererseits ab, die nach vorn hin mit der genannten Höhle in Verbindung steht, nach hinten hin von der Wirbelsäule begrenzt wird und nach unten hin in die Kehlkopfhöhle übergeht. Trennen wir durch einen weiteren Abgrenzungsstrich die Kehlkopfhöhle von ihr ab, so haben wir in diesem eigentümlich langgestreckten Hohlraum den Rachen oder die Rachenhöhle (Pharynx) vor uns. Nach der Lagerung gegenüber den drei Höhlen: Kehlkopfhöhle, Mundhöhle und Nasenhöhle, unterscheiden wir an der Rachenhöhle den Kehlkopfhöhlenteil

der Rachenhöhle (Pars laryngealis = Hypopharynx), den Mundhöhlenteil der Rachenhöhle (Pars oralis = Mesopharynx) und den Nasenteil der Rachenhöhle (Pars nasalis = Epipharynx) oder Nasenrachenraum (Cavum pharyngonasale). Nach oben hin endet die Rachenhöhle am Schädelgrunde.

Zwischen den beiden Zahnreihen des Unterkiefers ruht am Boden der Mundhöhle der beweglichste Muskel des Muskelapparates unseres Körpers, die Zunge. Die einzelnen Muskeln, aus denen sich dieser Fleischkloß zusammensetzt, sind in ihrem Verlauf ziemlich verwickelt und daher hier in ihren Einzelheiten nicht gut darstellbar.

Jedenfalls sehen wir auf dem Durchschnitt der Abb. 51 besonders zwei große Muskelgruppen, einmal einen Muskel, dessen Fasern von der hinteren Seite des Unterkieferknochens entspringen und nun fächerförmig in die ganze Zunge ausstrahlen. Das ist der Musculus genioglossus. Das Ende


Abb. 52 (nach Henle-Merkel).



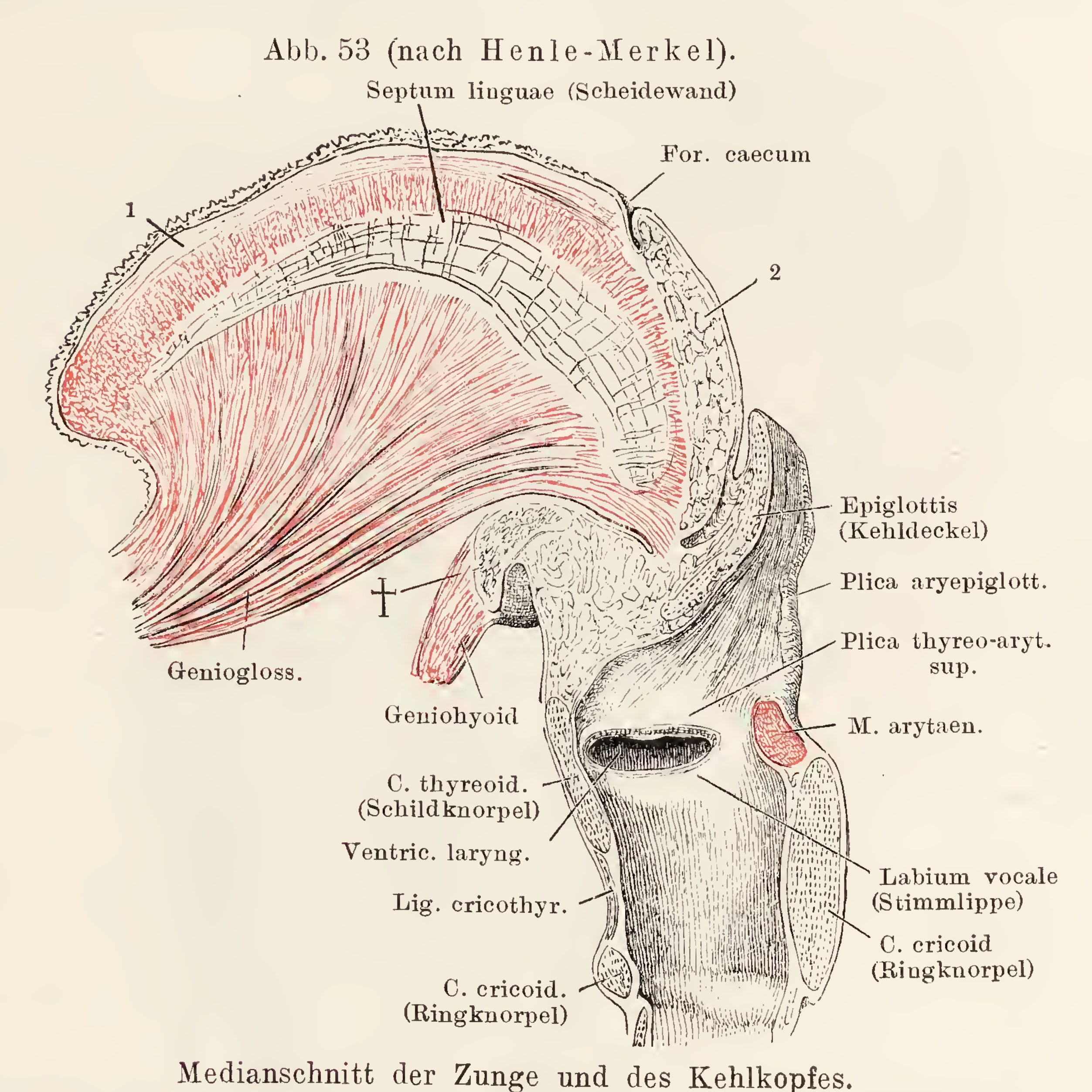
Frontalschnitt der Zunge.

der Fasern dieses Muskels ist ungefähr in einer Entfernung von 5 mm von der Schleimhaut der oberen Zungenfläche zu suchen. Ferner entspringen vom Zungenteil die Musculi hyoglossi und gehen schräg nach vorn und aufwärts zu den Seitenteilen der Zunge, wo sie sich an die Musculi genioglossi anlegen. Von den Muskeln, die in der Zunge selbst entspringen und enden, ist besonders der Musculus transversus linguae zu erwähnen, den man in der Abb. 52 gleichfalls sieht. Er geht quer von links nach rechts durch die Zunge hindurch.

Die ganze Zungenmasse ist durch eine Scheidewand (Septum linguae) in zwei gleiche Hälften geteilt. Diese Scheidewand, die aus Bindegewebe besteht, stellt fast das einzige Bindegewebe in der gesamten Zungenmasse dar. Es gibt wohl kaum ein Muskelgebilde des menschlichen Körpers, das so außerordentlich wenig Bindegewebe und Fettgehalt besäße wie die Zunge. Diese Scheidewand der Zunge erstreckt sich nach hinten hin bis zum Kehldeckel, wo sie aus dem Grunde des Zungenfleisches hervortaucht und das Kehldeckelzungenband (Ligamentum glosso-epiglotticum) darstellt. Wenn

wir die Zunge nunmehr in ihrer Gesamtheit von oben betrachten, so müssen wir an ihr zunächst zwei Teile unterscheiden: einen Mundteil und einen Rachenteil. Der Mundteil der Zunge reicht von vorn bis zu der Stelle, wo der Zungenrand seitlich aufhört, und das ist genau die gleiche Stelle, wo die vorderen Gaumenbögen (Arcus glossopalatini) links und rechts entspringen. Auf dem Rücken der Zunge sieht man hier ein mit der Spitze nach vorn gerichtetes lateinisches V, welches von sechs bis zehn sogenannten umwallten

Abb. 53 (nach Henle-Merkel).



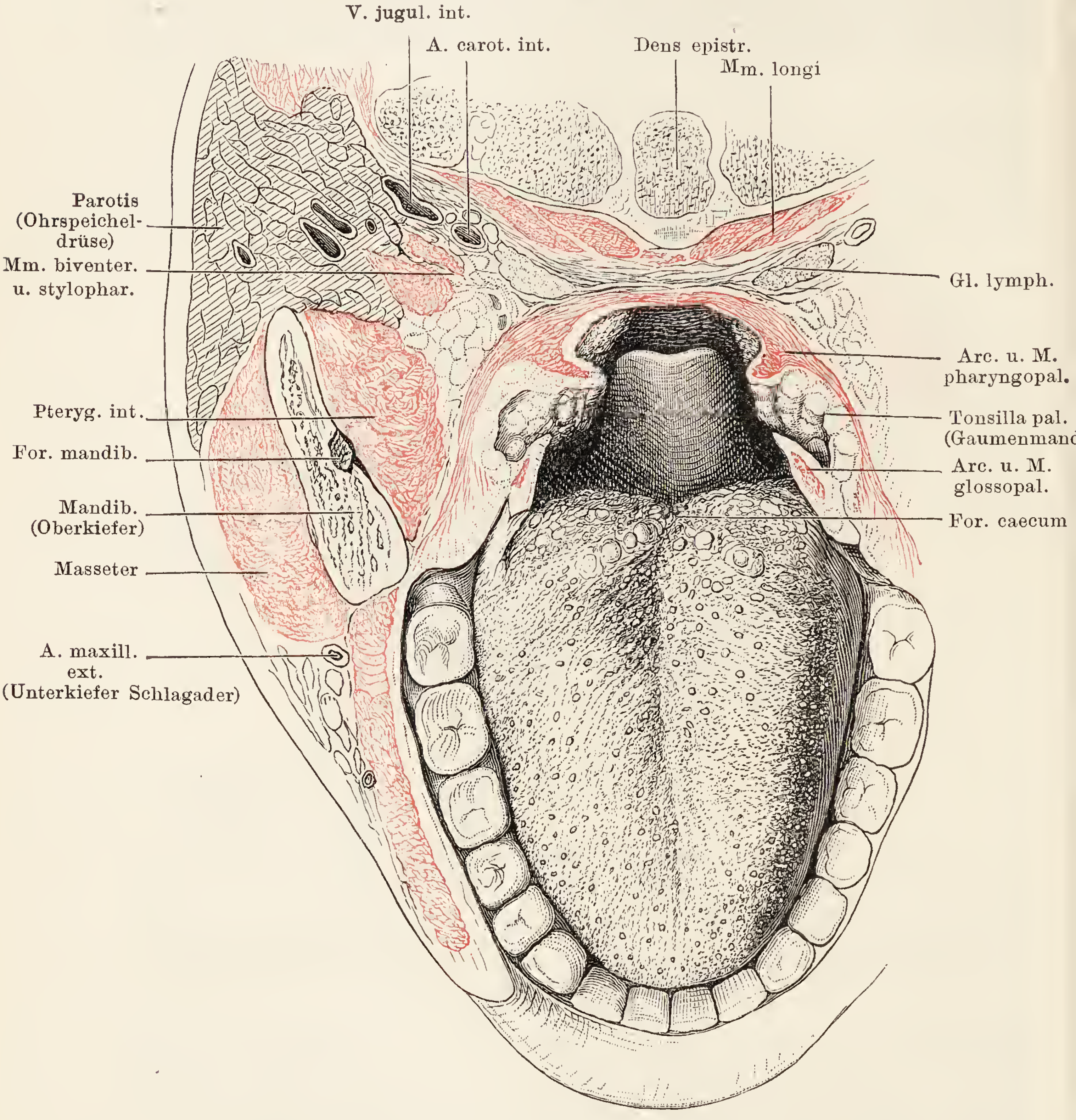
Medianschnitt der Zunge und des Kehlkopfes.

† Durchschnitt des Zungenbeinkörpers. 1 Längsmuskelfasern des Zungenrückens.
2 Drüsenschichte des Zungenrückens.

Papillen (Papillae circumvallatae) gebildet wird. Der Mundteil der Zunge steht im wesentlichen wagerecht, während der Rachenteil mehr senkrecht geneigt ist, so daß dieser Teil der Zunge gleichsam die vordere Wand des Rachens bildet. Die Schleimhaut der oberen Zungenfläche ist rauh in der Mundhöhle, weil sie hier eine große Anzahl von schwammartigen Papillen trägt; nach dem Rachen zu wird die Schleimhaut sammetartig weich, weil in ihr außerordentlich viele Drüsen eingestreut sind. Diese Drüsen werden besonders nach hinten hin überaus zahlreich, und am Zungengrunde befindet sich eine Ansammlung von adenoidem Gewebe, welches vollständig in seiner Struktur den Gaumenmandeln, die wir bald besprechen werden, ähnelt.

Es ist das die sogenannte Zungenmandel. Die untere Zungenfläche ist viel dünner. Wenn wir den Mund weit öffnen und die Zunge in die Lage bringen, welche sie beim Sprechen des Lautes *L* einnimmt, d. h. wenn wir

Abb. 54 (nach Henle-Merkel).



Horizontalschnitt der Mundhöhle durch die Lippenwinkel.

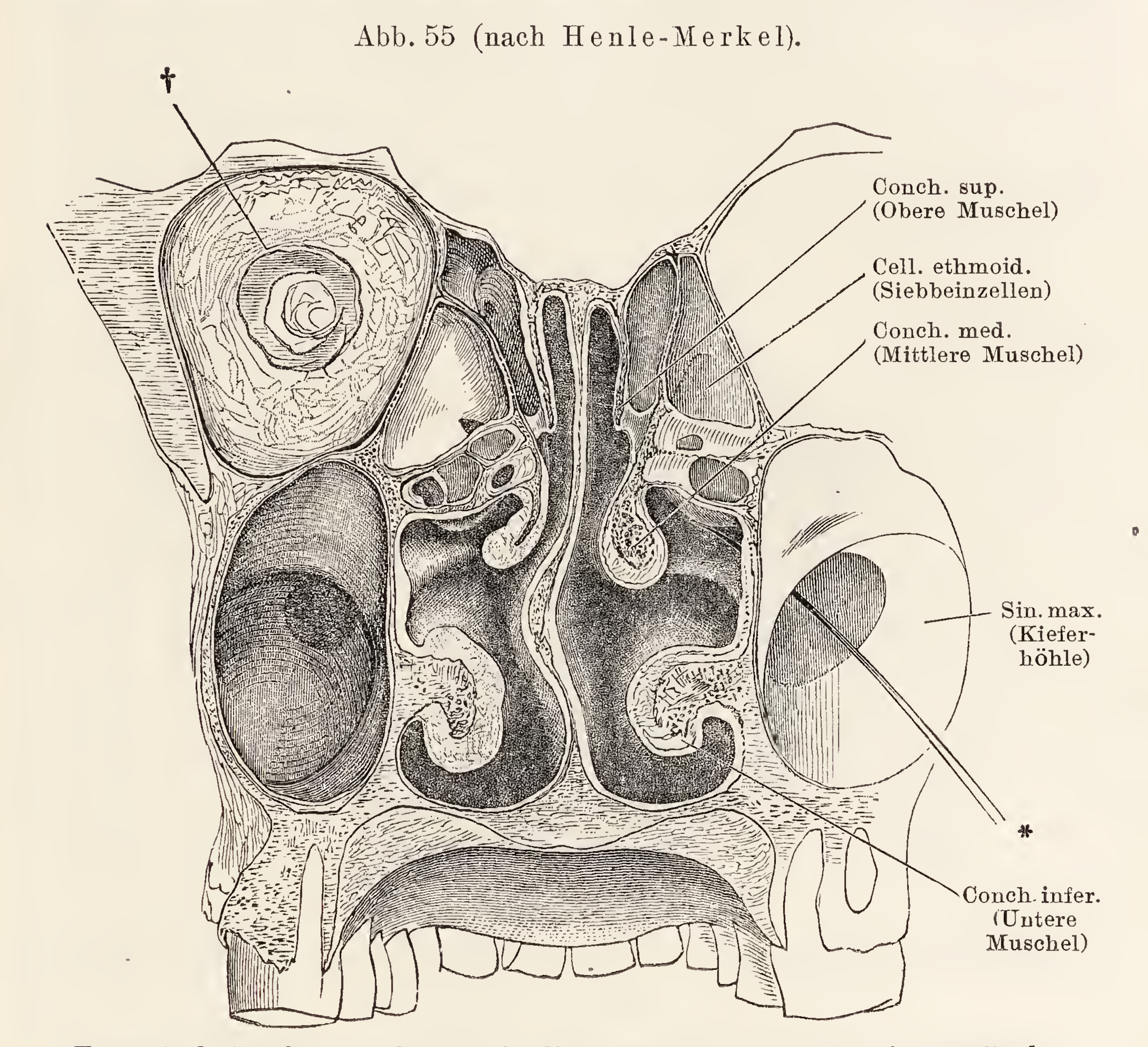
die Zungenspitze bei weit geöffnetem Munde hinter die obere Zahnreihe stellen, so sehen wir fast die ganze untere Schleimhautfläche der Zunge.

Wie wir aus der Abb. 50, sowie aus der nebenstehenden Abb. 55 sehen, zeigt die Nasenhöhle eine eigentümliche, architektonisch sehr bemerkenswerte Bauart. Die ganze Nasenhöhle besteht aus zwei sich ungefähr

gleichsehenden Hälften, die voneinander durch eine in der Mittellinie des Kopfes gelegene Scheidewand, die Nasenscheidewand, getrennt sind. Die Nasenscheidewand ist in ihrem hinteren Teile knöchern, in ihrem vorderen Teile knorpelig. Sie endet nach hinten sowohl wie nach vorn mit einem freien Rande.

Das Dach der Mundhöhle wird durch den Gaumen gebildet. Der feste Gaumen gleicht einem Gewölbe, das ungefähr 4 cm lang ist. Führt

Abb. 55 (nach Henle-Merkel).



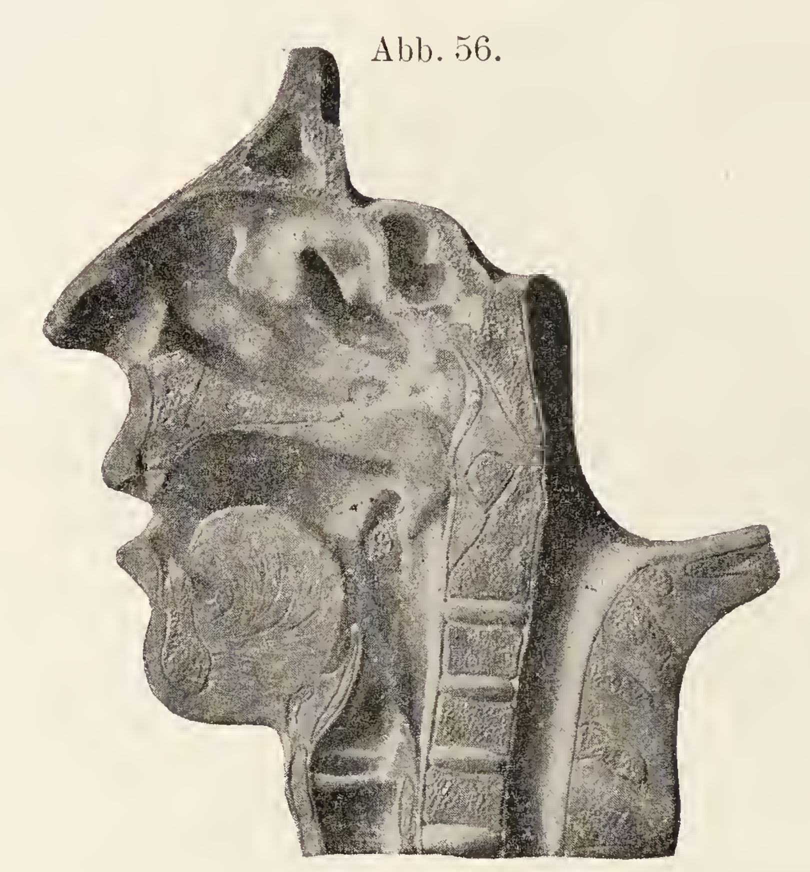
Frontalschnitt des Kopfes durch die Nasenhöhle, vordere Schnittfläche.

† Durchschnitt der Augenhöhle. * Eine aus der Kiefer- in die Nasenhöhle geführte Sonde.

man den Zeigefinger in der Mittellinie des harten Gaumens nach hinten, und zwar so, daß man mit mäßigem Drucke an die Wölbung des harten Gaumens dabei andrückt, so nimmt man in dem Augenblick, wo die Schneidezähne des Oberkiefers das zweite Gelenk des Fingers erreichen, wahr, daß der harte, knöcherne Widerstand des Gaumens aufhört und der Finger das Gewölbe nach oben hin wegzudrücken vermag. Der harte Gaumen endet jedoch nach hinten schon etwas früher, da an seine Hintergrenze sich eine sehr starke, straffe Bandplatte ansetzt, die schwer auf Fingerdruck nachgibt und daher leicht den Knochen vortäuschen kann. Von da ab ist das Gaumen-

gewölbe weich und biegsam, und man nennt es infolge seiner eigentümlichen Form und Beweglichkeit Gaumensegel. Betrachten wir nun das Gaumensegel von vorn her, so sehen wir, daß von den Seitenrändern der Zunge dort, wo sie aufhören, frei zu sein, nach oben hin jederseits ein Bogen zieht, die sogenannten Zungengaumenbögen (Arcus palatoglossi); dieselben endigen mit einem kleinen nach unten konkaven Bogen am seitlichen Rande des Zäpfchens. Nach hinten von ihnen sieht man zwei ihnen parallel ziehende Bögen links und rechts vom Zäpfchen herabziehen, welche in der Seitenwand des Rachens verschwinden, die sogenannten Gaumenrachenbögen (Arcus palatopharyngei). Die beiden Bögen fassen zwischen sich eine Nische, die gleich einem gotischen Fenster spitzbogenförmig von beiden Bögen eingefaßt wird, und in dieser Nische liegt jederseits eine Anhäufung adenoiden Gewebes, die wir als Gaumenmandel bezeichnen (Tonsille).

Abb. 56.

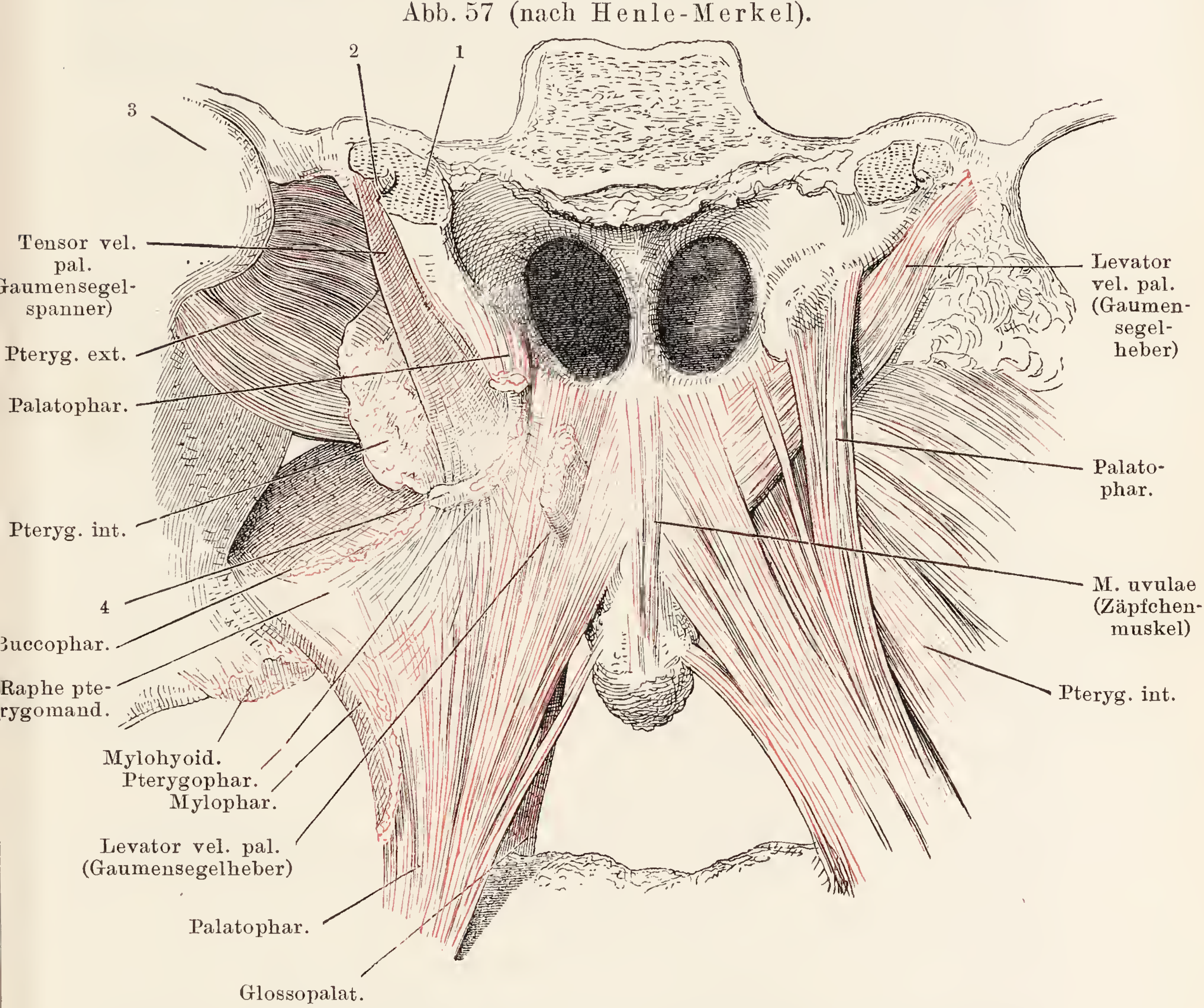


Mediandurchschnitt durch den Kopf bei gehobenem (kontrahiertem) Gaumensegel.

Das Gaumensegel vermag dadurch, daß es sich erhebt, den Zugang zur Nasenhöhle von unten her vollständig abzuschließen, so daß der weiche Gaumen mit dem harten Gaumen eine wagerechte Decke bildet, während der weiche Gaumen im ruhenden Zustand gegen den harten Gaumen einen mehr oder weniger großen Winkel bildet. Diese Tätigkeit des Gaumensegels wird vorwiegend durch einen Muskel besorgt, der aus der Tiefe der Ohrtrompete (Tuba Eustachii) herauskommt und sich fächerförmig in die Substanz des Gaumensegels ausbreitet. Der Muskel entspringt seitlich am Schädelgrunde und geht von der einen Seite ohne Unterbrechung in den Muskel der anderen Seite über, so daß auf diese Weise, da ja der Ansatzpunkt am Schädelgrunde völlig fest ist, eine Art halbkreisförmige Schleife entsteht. Es ist klar, daß der Muskel bei seiner Kontraktion das Gaumensegel scharf emporheben muß. Die vorstehende Abbildung zeigt das straff erhobene

Gaumensegel, und wir sehen, daß sich der Muskel offenbar nicht bis zur hintersten Grenze des Gaumensegels erstreckt. Damit das Gaumensegel hinten anstoße, ist das auch durchaus nicht nötig; es hängt ein Teil des Gaumensegels frei herab, und das Segel selbst erleidet durch die Zusammenziehung des Gaumenhebemuskels eine scharfe Abknickung. Dieser Muskel heißt Heber des Gaumensegels (Levator veli palatini). In der Substanz des Gaumensegels sind weiter eingebettet die Muskeln, welche in den Gaumen-

Abb. 57 (nach Henle-Merkel).



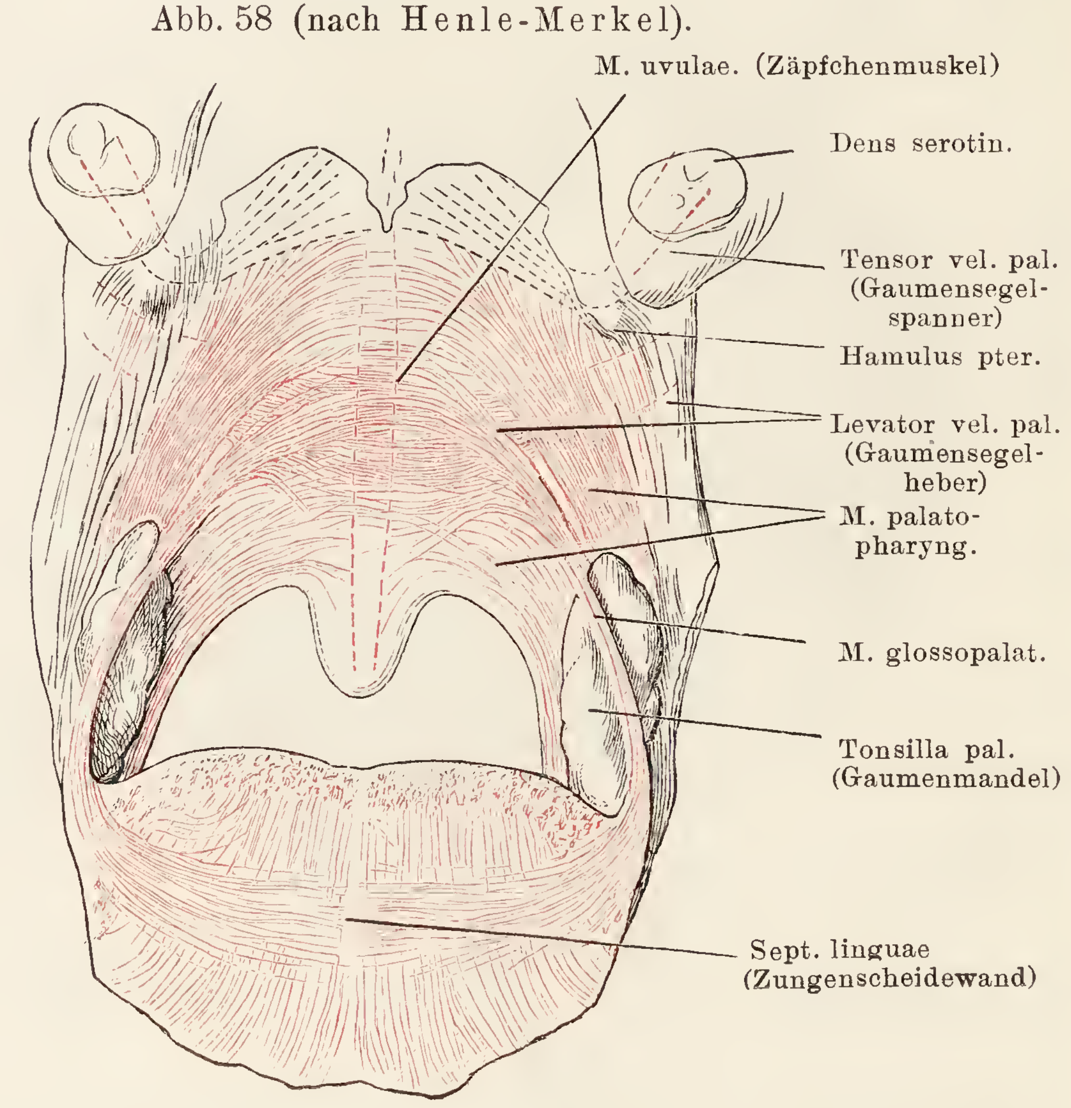
Schädelbasis, hinter den Choanen frontal durchschnitten, Choanen und Gaumensegel von hinten, mit freigelegten Muskeln.

1 Knorpel der Tuba. 2 Lumen derselben. 3 Gelenkkopf des Unterkiefers. 4 Hamulus pterygoideus.

bögen liegen, und die, wie man bei Betrachtung des geöffneten Mundes im Spiegel sehen kann, ebenfalls halbkreisförmige Schleifen darstellen müssen. Wie die Abbildungen zeigen, gehen diese Muskeln im Gaumensegel über die Schleife des Hebers hinüber, sie werden also bei seiner Wirksamkeit in die Höhe gerissen und gestreckt, so daß die Schleife in die Länge gezogen erscheint. Das können wir in der Tat sehen, wenn wir den Mund weit

öffnen und nun, während wir in ihn hineinblicken, kräftig und laut *a* sagen. Man sieht dann ganz deutlich, besonders wenn das *a* recht laut und hoch gesagt wird, daß die Gaumenbögen gereckt werden, so daß die Gaumenpfeiler sich einander sogar etwas nähern. Ebenso klar ist aus dem Verlauf dieser Muskeln, daß sie gleichsam die Gegenmuskeln des Hebers sind, seine sogenannten Antagonisten. Sie ziehen bei ihrer Kontraktion das Gaumensegel nach abwärts. Außerdem liegt ganz oben dicht unter der Oberfläche und genau in der Mittellinie ein Muskelbündel, das pinselförmig frei nach unten hin endet und mit seinem untersten Ende das Zäpfchen bildet, das ist der Musculus azygos uvulae oder Zäpfchenmuskel. Er nimmt die ganze

Abb. 58 (nach Henle-Merkel).



Darstellung der Gaumenmuskeln.

Mittellinie des weichen Gaumens ein und entspringt an einer sehnigen Platte, die ihrerseits wieder an das hintere Ende des harten Gaumens fest angewachsen ist. Diese sehnige Platte ist das Ende des sogenannten Gaumensegelspanners (Musculus tensor veli palatini). Wir sehen also, daß von diesem Gaumenmuskel keine Muskulatur sich im Gaumensegel selbst befindet, sondern nur seine fächerförmige Endsehne. Der Muskel entspringt an einem Fortsatz des Keilbeines und an der unteren Wand der Ohrtrompete und schlägt seine Fasern um einen kleinen Knochenvorsprung der flügelförmigen Fortsätze des Keilbeines herum. Seinen Verlauf ersehen wir aus der Abbildung, und wir erkennen gleichzeitig, daß bei seinem Zusammen-

ziehen sich das Gaumensegel nicht heben kann, sondern nur eine Spannung erfährt. Er ist in der Tat auch für das Gaumensegel gänzlich belanglos. Viel wichtiger ist seine Tätigkeit für die Ohrtrompete; denn da seine Fasern an der unteren Wand des knorpeligen Teiles dieses Rohres ansetzen, so vermag er die Ohrtrompete durch seine Zusammenziehung zu erweitern und so eine Lüftung der Ohrtrompete vorzunehmen. Wie aus dem Geschilderten hervorgeht, ist die Muskulatur des Gaumensegels nicht so sehr einfach vorzustellen. Die Gesamtsubstanz des Gaumensegels enthält außer den beschriebenen Muskeln zahlreiche Schleimdrüsen, Bindegewebe und, in der Schleimhaut, Lymphfollikel.

Damit der Abschluß des Gaumensegels mit der hinteren Rachenwand inniger und fester werde, springt gleichzeitig mit dem Heben des Gaumensegels an der hinteren Rachenwand ein Wulst hervor, der sogenannte Passavantsche Wulst. Derselbe wird besonders durch die obersten Fasern der Ringmuskulatur des Rachens hervorgerufen, und zwar, wie Gutzmann sen. zuerst betonte, durch den M. pterygo-pharyngeus, den obersten Teil des oberen Schlundschnürers. Die hintere und seitliche Wand der Rachenhöhle nämlich zeigt eingelagert eine flache Muskulatur, den obersten, den mittleren und den untersten Schlundschnürer oder Rachenschnürer: Constrictor pharyngis superior, medius et inferior. Diese Muskeln entspringen alle von der Mittellinie des Rachens, und zwar so, daß sie dachziegelartig übereinanderliegen. Der mittlere liegt zum Teil über dem oberen, der untere zum Teil über dem mittleren. Der obere geht nun mit seinen obersten Fasern an die schon mehrfach genannten flügelförmigen Fortsätze des Keilbeines und bildet somit, da diese Schädelteile nicht bewegt werden können, eine, dort an festen Punkten haftende, halbkreisförmige Schleife, die bei ihrer Kontraktion notwendig eine Art Ring in den Rachen vorwölben muß. Die übrigen Fasern dieses Rachenmuskels verlaufen zum Teil zur Innenseite des Unterkiefers, zum größten Teil aber gehen sie entweder unmittelbar oder mit Zwischenlagerungen eines sehnigen Streifens in den Trompetermuskel der Backen über, so daß man sogar von einem Musculus bucco-pharyngeus sprechen kann. Der mittlere Schlundschnürer endet am Zungenbein, und der unterste am Kehlkopf. Man merke sich also: der oberste Schlundschnürer endet an den seitlichen Teilen des Kopfes (Musculus kephalo-pharyngeus), der mittlere Schlundschnürer am Zungenbein (Musculus hyo-pharyngeus) und der unterste Schlundschnürer, wie gesagt, am Kehlkopf (Musculus laryngo-pharyngeus). Der mittlere Teil der Rachenhöhle bekommt einen Abschluß nach oben hin durch das sich erhebende Gaumensegel. Es ist sonst im allgemeinen von diesem mittleren Teil nicht viel mehr zu sagen, außer daß er derjenige ist, den man im Spiegel am leichtesten bei sich selbst betrachten kann. Man sieht auch an ihm, wie durch die Zusammenziehung der Rachenmuskulatur die gesamte Schleimhaut und die bewegliche Muskelmasse der hinteren Wand der Rachenhöhle beim Sprechen des Vokales *a* scharf in die Höhe gehoben wird. Sehen wir ein derartiges Emporsteigen der Rachenwand nicht, so können wir immerhin daraus schließen, daß die Beweglichkeit der Rachenmuskulatur sehr gering ist. Der Abschluß des Nasenrachenraumes gegen die Mundrachenhöhle geschieht also durch sphinkterartige Muskelzusammenziehungen im Gebiet des obersten Schlundschnürers, der Gaumenrachenbögen und des Gaumensegels.

Die Innervationsverhältnisse von Gaumensegel, obersten Teilen des Schlundes und der bedeckenden Schleimhäute sind so unübersichtlich und schwierig, daß sie ein eigenes Studium erfordern. Ich gebe hier nur das Wesentlichste wieder, und zwar folge ich dabei in der Hauptsache den Angaben Fr. Merkels (1918). Danach erfolgt die nervöse Versorgung des Gaumensegels mit motorischen Impulsen vom Plexus pharyngeus aus. Es ist dies ein Nervengeflecht, das von den Endästen mehrerer Hauptnerven gebildet wird. So sind daran beteiligt 2 bis 3 Äste (Rami pharyngei) des Nervus glossopharyngeus und 1 bis 2 Rami pharyngei des Nervus vagus. Letztere gehen vom Ganglion nodosum (Plexus nodosus, Plexus ganglio-formis) oder unterhalb desselben ab. Ein großer Teil dieser Fasern stammt schon vom Nervus accessorius her, und zwar durch einen Verbindungsast (sogen. Anastomose), den dieser Nerv über das Ganglion nodosum dem Nervus vagus zuführt. Schließlich ist an dem Plexus pharyngeus noch der Sympathikus mit Ästen beteiligt, die aus dem Ganglion cervicale superius stammen.

Der Plexus liegt auf der Außenseite des M. constrictor pharyngis medius und enthält meist ein oder mehrere Ganglien. Seine radiär ausstrahlenden Äste führen die motorischen Fasern für die Schlundmuskeln und senden auch dem M. levator veli palatini wie dem M. uvulae solche zu. Die frühere Annahme, daß in der Bahn des Nervus palatinus posterior dem M. levator veli palatini und dem M. uvulae motorische Fasern zugeführt würden, wird demnach bestritten.

Die Innervation der Schleimhaut des Schlundes erfolgt teils von dem intramuralen Gangliengeflecht des Plexus pharyngeus aus, teils durch den Ramus internus des Nervus laryngeus superior. Zur Schleimhaut der Gaumenmandeln, der Gaumenbögen und der benachbarten Teile des weichen Gaumens ziehen die Nervi tonsillares, Kollateraläste des Ramus lingualis aus dem Nervus glossopharyngeus. Schließlich stammen aus dem Ganglion sphenopalatinum (Ganglion Meckeli, Ganglion nasale) die Nervi palatini. Anfänglich ein Stamm, teilt er sich in drei Äste. Der stärkste von ihnen, der Nervus palatinus anterior oder maior, versorgt die Schleimhaut des harten und weichen Gaumens. Der schwächste ist der Nervus palatinus medius oder lateralis. Er verzweigt sich in der Gegend der Gaumenmandeln und der unteren Teile des Gaumensegels. Der dritte, Nervus palatinus posterior oder medius, gelangt zur Schleimhaut des weichen Gaumens.

Die Kraft des Gaumen- bzw. Rachenverschlusses ist recht erheblich. Mit dem Hartmannschen Meßverfahren bekommt man vergleichbare Werte. Die einzelnen Sprachlaute haben verschiedene Abschlußkraft, beim *a* ist sie am geringsten. Folgende Werte sind durch zahlreiche Messungen an 100 Kindern von 8 bis 16 Jahren von Biebendt gewonnen worden (in Millimetern Quecksilber):

a	*o*	*u*	*e*	*i*	*ss*	*s*	*f*	*w*
38,2	42,2	41,5	41,5	41,2	62,6	52,2	58,3	51,3

Beim *a* wird öfters auch die Kraft des Verschlusses = 0 gefunden. Bei *i* soll nach Nagel der Abschluß so stark sein, daß er von dem ge-

wöhnlichen Wassergebläse nicht überwunden wird. H. Stern hat Messungen der Verschlußkraft des Gaumensegels mit Berücksichtigung des Lebensalters (5. bis 10., 10. bis 20., über das 20. Jahr hinaus) durchgeführt für Vokale und *S*-Laute. Unter den Vokalen fand er beim *J* die größte Verschlußstärke; von den Konsonanten beanspruchte das scharfe *Ss* die größte Kraft.



Abb. 59 (nach Henle-Merkel).

Gesicht, fast Profil, die Augenhöhle entleert, der M. orbicularis oculi (*O*) nebst dem M. frontalis (*Ef*) zurückgeschlagen. *ZZ* Ursprung und Insertion des M. zygomaticus. *R* M. risorius, Insertion. *Tr* Ursprung und Insertion des M. triangularis. *Qls″*, *Qls‴* Caput infraorbit. und zygomaticum des M. quadrat. labii sup. am Ursprung abgeschnitten. *C* M. caninus. *B* M. buccinator. 1 Ausführungsgang der Parotis, am Eintritt in den Muskel abgeschnitten. *Sph* Sphinctor oris. *N* M. nasalis. *M*, *M′* oberflächliche und tiefe Portion des M. masseter. *Scc* M. subcut. colli.

Äußere Gesichtsmuskeln.

Die äußeren Gesichtsmuskeln haben insofern eine gewisse Wichtigkeit für uns, weil ihre Tätigkeit bei der äußerlich sichtbaren Bewegung, die die einzelnen Lautbildungen kennzeichnet, zutage tritt. In bezug auf die Einzelheiten verweisen wir auf die Abbildung. Hier wollen wir nur her-

vorheben, daß der einzig bewegliche Teil des gesamten Kopfes der Unterkiefer ist, und daß dieser in die Höhe gehoben wird vorwiegend durch den Musculus masseter oder Kaumuskel und durch den Musculus temporalis oder Schläfenmuskel. Umgekehrt kann bei festgestelltem Kiefer die Mundöffnung durch eine Bewegung des Schädels bewerkstelligt werden. Die Einzelheiten der Mundöffnungsbewegung, mit der ein Verschieben des Unterkiefers einhergeht, sind übrigens äußerst verwickelt (Mollier). Kau- und Schläfenmuskeln kann man in ihrer Tätigkeit leicht durch das Getast beobachten, wenn man kleine Kaubewegungen macht und dabei die Finger dicht vor das Ohr oberhalb und unterhalb des Backenknochens anlegt. Zum Öffnen oder Herabziehen des Unterkiefers dienen Muskeln, die im Boden der Mundhöhle eingebettet sind, und deren näherer Verlauf aus den beigegebenen anatomischen Abbildungen ersichtlich ist. Die Mundöffnung wird umgrenzt durch einen ringförmigen Muskel, den Musculus orbicularis oris, und in diesen hinein verlaufen radial eine große Anzahl von kleineren und größeren Muskeln von der Nase her, vom Backenknochen, vom Kinn. Man sieht, daß die Mundöffnung fast nach jeder Seite hin durch die Zusammenziehung dieser Muskeln verzerrt werden, und daß andererseits der Mund durch das Zusammenziehen des Ringmuskels sehr stark zusammengepreßt werden kann. Gewisse Kombinationen der Muskeln der Oberlippe und Unterlippe mit dem Orbicularis ermöglichen es, daß die Lippen nach vorn geschoben werden. In der Tiefe endlich erblicken wir den ganz flachen Musculus buccinator oder Trompetermuskel, den wir bereits bei der Rachenmuskulatur mit erwähnt hatten.

B. Physiologie des Ansatzrohres.

Die Wirkung des Ansatzrohres auf die menschliche Stimme besteht vorwiegend in zwei Erscheinungen.

1. Die Stimme wird verstärkt oder auch abgeschwächt, letzteres allerdings gewöhnlich, aber nicht immer, bei der Bauchrednerstimme. Die Verstärkung kann mehr oder weniger hochgradig sein, je nach der Form des Ansatzrohres, die der tönenden Luftsäule den Weg nach außen möglichst bahnt. Sie kann durch bestimmte Formungen des Ansatzrohres erstaunliche Größe erreichen.

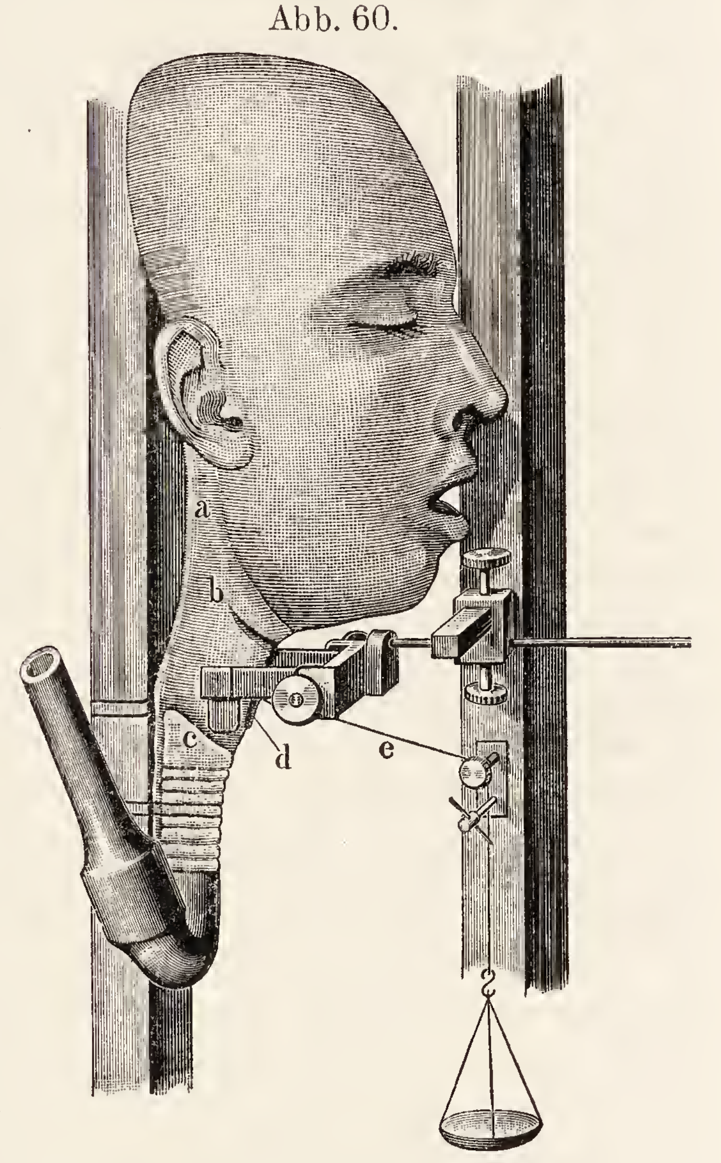
2. Die Klangfarbe des im Kehlkopf erzeugten Tones wird durch das Ansatzrohr wesentlich verändert.

Man könnte noch an einen dritten Einfluß denken und annehmen, daß, ebenso wie bei Blasinstrumenten mit schwingenden Zungen durch das Ansatzrohr auch die Höhe des Tones beeinflußt wird, das gleiche auch beim menschlichen Ansatzrohr der Fall wäre. Während aber dort die Schwingungszahl der Zunge durch das Ansatzrohr geradezu bestimmt wird, ist es bei dem Ansatzrohr des Menschen umgekehrt: Der Resonanzraum, der durch das Ansatzrohr dargestellt wird, sucht sich der Tonhöhe des Kehlkopfes nach Möglichkeit anzupassen. Auch ist ein derartig weichwandiger Resonator wie das menschliche Ansatzrohr so außergewöhnlich

stark gedämpft, daß er in weitem Umfang auf Töne anspricht und sie verstärkt. Daß in manchen Fällen durch plötzliche Behinderung der Hauptausflußöffnung der tönenden Luftsäule, z. B. bei einseitiger Nasenverengerung, wenn man das andere Nasenloch plötzlich zuhält, während der Resonant *m* langtönend ausgesprochen wird, der Ton der Stimme merklich tiefer wird, ist von Spiess beobachtet und von Bukofzer, Gutzmann sen. und Jörgen Möller hinreichend erklärt.

Für die gesamte Physiologie der Sprache am bedeutungsvollsten ist die Veränderung, welche die Klangfarbe des Kehlkopftones im Ansatzrohr und durch das Ansatzrohr erleidet. Auch hier ist es ein Versuch von Johannes Müller, von dem aus wir den Ausgang unserer Betrachtungen nehmen. Johannes Müller schnitt den Kopf einer Leiche so ab, daß der ganze Stimmapparat mit einem Teil der Luftröhre daran hing. Dann wurden die Halswirbel weggenommen, wie bei der Präparation des Schlundes, der Kehlkopf vorn bloßgelegt, der Schlund hinter den Stellknorpeln (Cartilagines arytaenoideae) geöffnet, diese Knorpel auf einer quer durchgezogenen dicken Stecknadel fest zugebunden, ganz so wie bei den ausgeschnittenen Kehlköpfen. Die Schnur dieser Ligatur wurde durch einen Schlitz des Schlundes nach außen geleitet, und der Schlund, nachdem er fest zugenäht worden war, an seinem unteren Ende unterbunden. Sodann hängte er den Kopf mit dem Stimmapparat auf, indem er die hintere Wand des Stimmapparates wie gewöhnlich an einem Pfeiler befestigte und besonders die von den Stellknorpeln gebildete Wand daran festlegte. Wenn in dieser Anordnung der Kehlkopf der Leiche angeblasen wurde, so wurde der Klang der Stimme der menschlichen so ähnlich, daß aller Unterschied des lebenden Körpers und der Maschine ver-

Abb. 60.



schwand. Bei passiver Bewegung der Lippen konnte Johannes Müller sogar zur Bildung einiger Konsonanten schreiten. Das *m* und das *w* gelangen sehr leicht, auch die Vokale *u* und *a* wurden durch die nötigen Veränderungen der Mundöffnung erzeugt, so daß die Leiche also noch klare menschliche Sprachlaute produzieren konnte. Was bei diesem Versuch besonders auffiel, war die absolute Menschenähnlichkeit der so erzeugten Leichenstimme, was man von einem einfachen isolierten Leichenkehlkopf kaum sagen kann. Man kann demnach wohl ohne Übertreibung die Behauptung aufstellen, daß das eigentliche Menschenähnliche in der Stimme durch die Einwirkung des Ansatzrohres zustande kommt. Hinzuzufügen ist noch, daß der von den Stimmlippen erzeugte Ton bereits von den Verhältnissen des Bronchialbaumes beeinflußt ist. Schon Wethlo hatte bei seinen Versuchen mit der Polsterpfeife darauf hingewiesen, daß Länge und Weite des zum tönenden Spalt hinleitenden Windrohres bei unveränderter Stellung und Spannung der Polster von Einfluß auf die Tonhöhe sei. Nun hat Giesswein die physiologische Bedeutung des Bronchialbaumes für die Sprechtonlage untersucht. Dabei stellte sich heraus, daß der Eigenton eines Resonators von der Größe, Form und Art des Bronchialbaumes tatsächlich der Höhe der menschlichen Sprechlage entspricht. Die Klangverstärkung richtet sich dabei nach dem Durchmesser. Weiterer Durchmesser bewirkt stärkeren Klang als engerer Durchmesser. Dazu kommt noch der rein mechanische Reiz der im Bronchialbaum schwingenden Luftsäule auf die Stimmlippen. Nach Garten ist sogar allein die Weite der Stimmritze von solchem Einfluß auf die Tonhöhe, daß sich Unterschiede von nahezu einer Terz ergeben. Der Klang, den das Ansatzrohr an sich erzeugt und dem Stimmklang beimischt, die Art, wie es die Obertöne des aus dem Kehlkopf dringenden Tones verstärkt oder erst hinzufügt, ist demnach schon seit langer Zeit der Hauptgegenstand der Untersuchung von Physiologen, Physikern und Phonetikern gewesen, und trotz zahlreicher, zum Teil mit außerordentlichem Scharfsinn angestellter Arbeiten sind die Meinungen über diesen Gegenstand unter den Forschern auch heute noch nicht ganz übereinstimmend.

1. Die Klanganalyse der Sprachlaute.

Vorbemerkungen: Rein physikalisch bildet die einfachste Schwingung der Luft eine reine Sinuswelle. Die Anzahl der Wellen pro Sekunde ergibt

die Tonhöhe, während die Klangstärke durch die Amplitude (Bewegungsgröße) ausgedrückt ist. Zu dieser einfachen Schwingung (dem Grundton) gesellen sich fast immer Schwingungen höherer Ordnung (Obertöne), deren Schwingungszahl bei musikalischen Klängen durch ganze Vielfache derjenigen des Grundtones angegeben werden können. Obertöne und Grundton verschmelzen für unser Ohr zu einem einheitlichen Klang, aus dem selbst musikalisch geschulte Beobachter nur mit Mühe einzelne Obertöne heraushören können. Sind die Obertöne nicht harmonisch, besteht also kein einfaches Verhältnis der Schwingungszahlen, dann wird die Verschmelzung mehr und mehr unvollkommen. Wo aber die Vokale unserem Ohr als einheitlicher Klang erscheinen, darf angenommen werden, daß auch diese aus Grundton und harmonischen Teiltönen (Obertönen) bestehen, welche ganze Vielfache der Schwingungszahl dieses Grundtones darstellen. Hat also der Grundton eines gesungenen Vokals die Schwingungszahl 100, so würden die Obertöne die Schwingungszahlen 200, 300, 400, 500, 600 usw. haben. Für c (128 Schwingungen) wären also die Obertöne c^1 (256 Schwingungen), g^1 (384 Schwingungen), c^2 (512 Schwingungen), e^2 (640 Schwingungen), g^2 (768 Schwingungen), b^2 (896 Schwingungen), c^3 (1024 Schwingungen), d^3 (1152 Schwingungen), e^3 (1280 Schwingungen) usw. Vergleicht man diese Schwingungszahlen der physikalischen Stimmung mit denen der internationalen temperierten Stimmung[1]), gegründet auf $a = 435$ Doppelschwingungen, so sieht man, daß mehr oder weniger große Differenzen besonders bei den höheren Obertönen eintreten, und es ist ganz interessant, daß bei dem bekannten Klavierversuch, den Helmholtz angegeben hat, um die Obertöne einzeln, z. B. aus der angeschlagenen Taste c, herauszuhören, ein einigermaßen musikalisches Ohr sofort hört, daß der Oberton e^2 etwas niedriger ist als der Ton der Taste e^2, ein exakter Beweis dafür, daß nicht etwa eine Gehörtäuschung bei der Wahrnehmung der Obertöne vorliegen kann.

Die Klangfarbe hängt nun von der Zusammensetzung des Klanges aus den Teiltönen (Grundton und Obertöne) je nach Zahl und Stärke ab. Die bekannteren Bezeichnungen dieser Klangfarbe kann man kurz nach Helmholtz und Mach folgendermaßen bestimmen: 1. Klänge, welche außer dem Grundton keine oder nur sehr schwache Obertöne enthalten, erscheinen weich und dumpf. 2. Klänge mit einigen hohen Obertönen von mäßiger Stärke sind voller und angenehmer. 3. Wenn der Grundton bedeutend stärker ist als die Obertöne, ist der Klang voll, im gegenteiligen Fall leer. 4. Klänge, in welchen die geradzahligen Teiltöne (Oktaven, Doppeloktaven usw.) fehlen, sind hohl und näselnd. In geringerem Grade findet dies statt, wenn nur die ungeradzahligen Teiltöne (Duodezime und ihre Oktave) fehlen. 5. Scharf ist ein Klang, welcher sehr viele hohe und starke Obertöne hat.

Nach der Ohm-Helmholtzschen Theorie soll im inneren Ohr wieder eine Analyse des wahrgenommenen Klanges in Teiltöne stattfinden. Dabei sollen die Phasenverhältnisse auf die Klangfarbe keinen Einfluß haben. Das Stärkeverhältnis der einzelnen Teiltöne zueinander hat dagegen nach Stumpf einen wesentlichen Einfluß auf die Klangfarbe. Es genügt

[1]) $c = 129{,}3$; $c^1 = 258{,}45$; $g^1 = 387{,}5$; $c^2 = 517{,}3$; $e^2 = 651{,}76$; $g^2 = 775{,}08$; $ais^2 = 921{,}7$; $c^3 = 1034{,}6$; $d^3 = 1161{,}3$; $e^3 = 1303{,}5$ usw.

also nicht, die Schwingungszahl der Teiltöne zu bestimmen, sondern es müssen auch die Klangstärken angegeben werden.

In der Musik unterscheidet man pianissimo, piano, mezzo-forte, forte, fortissimo und noch einige andere Zwischenstufen. Ein genaues, objektives Maß für die Tonstärke, welches allgemein Eingang gefunden hätte, fehlt uns aber bis jetzt noch immer. Der subjektive Eindruck mit seinen vielen Fehlerquellen kann uns aber nur einigermaßen als Richtschnur dienen. Wollte man z. B. die Bewegungsgröße der Luftbewegung, die Amplitude, benutzen, stößt man auf folgende Schwierigkeiten. Wenn bei niedrigen Tönen, z. B. 100 Schwingungen, die Amplitude schon $^1/_{10}$ mm und mehr Höhe erreicht hat, braucht die Lautstärke doch erst mäßig stark zu sein. Umgekehrt sind Töne von 2000 bis 3000 Schwingungen und einer Amplitudenhöhe von $^1/_{10\,000}$ mm bereits unerträglich stark. Obwohl also physikalisch die Bewegungsgröße eines höheren Teiltones fast gar nicht hervortritt, kann doch das akustische Bild von seiner physiologischen Klangstärke völlig beherrscht werden.

Doch selbst wenn wir, ebenso wie wir in den verschiedenen musikalischen Noten ein Tonhöhenmaß besitzen, auch ein allgemein anerkanntes Tonstärkenmaß besäßen, wäre damit die Klangfarbe nun wieder noch nicht genügend geklärt. Die Schwingungszahl reicht zwar physikalisch aus, um mit der Bewegungsgröße die Luftbewegung genau zu umschreiben. Physiologisch ist die Sache aber viel verwickelter. Jeder Ton stellt eine Summe von Eigenschaften dar. Unsere Seele erhält ein Gemisch von Eindrücken, wofür uns bis jetzt, ähnlich wie beim Geruch, eine gute Umschreibung fehlt. Wir nennen einen einfachen Ton je nach seiner Lage in der Notenschrift dumpf, voll, hell, scharf, und doch ist damit die Zahl der Qualitäten noch gar nicht erschöpft. Verschmelzen nun gar mehrere Töne, dann werden sich auch diese Eigenschaften, Zwaardemaker nennt sie biophone, verstärken, abschwächen, aufheben usw. und das ganze komplexe Tonsystem kann für unsere Psyche wieder einen einheitlichen Klang, eben den Vokal, bilden. Ja, die Beteiligung des Ich beim Hören eines Klanges, besonders beim verstehenden Hören, ist sogar noch stärker; insofern nämlich, als durch zentrale Vorstellungen irgendwelcher Art die Objektivität der akustischen Aufnahme im Ohr weitgehend beeinflußt werden kann.

Wollen wir aber rationelle Einsicht in den akustischen Aufbau der Vokale erhalten, müssen wir unbedingt damit anfangen, daß wir das komplexe Schallbild in seine einzelnen Bausteine zerlegen und so analysieren.

Die verschiedenen Verfahren, mit denen man eine Lösung dieser Aufgabe versucht hat, möchte ich der besseren Übersicht wegen zunächst in ganz großen Umrissen zeichnen, um dann anschließend die einzelnen Verfahren, soweit sie praktisches bzw. besonderes historisches Interesse haben, genauer zu beschreiben.

I. a) Einfaches Heraushören der Teiltöne mit unbewaffnetem Ohr, mit Hilfe von Resonatoren oder, mehr objektiv, mit Hilfe von Röhren nach Kundt (dazu gehört auch die Flammenröhre von Rubens).

b) Anblasen, Anklopfen usw. der Mundhöhle in Vokalstellung oder Bestimmung der Gabeltöne, die dabei vor dem Munde die stärkste Resonanz ergeben.

II. Dämpfung (Abbau) durch Interferenz nach Quincke.
III. Direkte Beobachtung der Luftwellen (Raps), Luftstäubchen (Boltzmann), schwingender Flammen ohne Membran.
IV. Man kann die Bewegung der Luftwellen 1. auf eine Membran einwirken lassen und deren Bewegungen auf feste Schreibhebel übertragen, 2. in elektromagnetische Wellen umformen (Mikrophon) und 3. mit Hilfe eines Lichthebels aufzeichnen. Bei Phonograph und Grammophon ist die erhaltene Linie der akustischen Kontrolle zugänglich. Bei den auf andere Weise erhaltenen Wellenlinien muß unbedingt eine physikalische Korrektur angebracht werden. Wird z. B., wie es schon öfter geschehen ist, für denselben Teilton bei der Analyse die größte Amplitude gefunden und auch akustisch die größte Tonstärke festgestellt, so müssen unbedingt grobe Fehler gemacht worden sein (siehe oben).

Eine Verstärkung des Klanges vor der Aufnahme kann mittels Trichter vorgenommen werden. Hierbei unterliegt aber die Wellenform einer sehr störenden Abänderung. Eine Vergrößerung der Membranschwingung kann erreicht werden durch mikroskopische Beobachtung oder durch Lichthebel, und bei den elektromagnetischen Wellen durch Saitengalvanometer, Oszillograph oder, wie es besonders in der letzten Zeit geschah, durch die Elektronenröhre.

a) Analyse der menschlichen Stimme durch Hören, Resonatoren und Interferenz.

Bereits Rameau und d'Alembert (1717 bis 1783) wußten, daß jeder musikalisch brauchbare Klang, also auch die menschliche Stimme, neben seinem Grundton noch die Duodezime und die nächsthöhere Terz hören läßt. Ebenso wurde, nur in ausführlicherer Weise, über die Ergebnisse der einfachen Beobachtung der menschlichen Stimme durch das Ohr von H. Grassmann 1854 und später im Jahre 1877 berichtet. Ähnliche Beobachtungen hat zum Teil Helmholtz gemacht, indem er besonders die hohen Obertöne des *ö*, *e* und *i*, für die man keine, eine erhebliche Verstärkung gebenden, Resonatoren beschaffen konnte, mit dem unbewaffneten Ohre heraushörte. Er ließ zu ihrer Beobachtung hohe Töne weiblicher Stimmen oder Männerfistelstimmen singen, weil die Obertöne der hohen Noten in der betreffenden Gegend der Skala nicht so nahe aneinanderliegen, wie diejenigen tiefer Noten und deshalb leichter voneinander unterschieden werden können. So ließ er weibliche Stimmen das b^1 auf den verschiedenen Vokalen singen und hörte die Duodezime f_2 bei einem breiten *ä*, die Doppeloktave b^3 bei *e* und die hohe Terz d^4 bei *i*, letztere oft recht durchdringend. Bei den sogenannten tiefen Vokalen verfuhr Helm-

holtz etwas anders: er sang das *u* in der Skala von *c* aufwärts und fühlte, daß die Erschütterung der Luft im Munde und selbst an den Trommelfellen beider Ohren am heftigsten wurde, wenn er bis *f* gelangte, vorausgesetzt, daß er sich bemühte, ein dumpfes *u* festzuhalten, ohne es in *o* übergehen zu lassen. Sobald er *f* überschritt, änderte sich die Klangfarbe, das starke Zittern im Munde und das Kitzeln im Ohre hörte auf. So bestimmte er die Resonanz der Mundhöhle für das dumpfe *u* auf die Höhe von *f*. Auch Oskar Wolf suchte die Vokalklänge mit dem unbewaffneten Ohr zu analysieren. Er erwähnt, daß ein geübter Musiker beim reinen Ansingen eines Vokalklanges, besonders des *a*, einen ganzen Akkord hören könne, und daß ihn Appun während der Versuche noch besonders darauf hinwies, daß gerade in freier Luft, wo die Schallwellen präzise ausschwingen können, dieser Akkord viel deutlicher hervortritt als im Zimmer. In etwas anderer Weise suchte Donders die direkte Analyse des Vokalklanges herbeizuführen, indem er sich bemühte, die Tonhöhe des Geräusches zu bestimmen, das beim Flüstern der verschiedenen Vokale eintritt. Spricht man die Vokale *u*, *o*, *a*, *e*, *i* flüsternd hintereinander, so hört man, wie die Tonhöhe von *u* bis *i* in deutlichem Anstieg sich verändert. Jedenfalls ist das so entstehende Geräusch durch ein geübtes Ohr leicht zu bestimmen, jedoch sind Irrtümer in der Oktave ebenso gewöhnlich, wie sie bei der Beurteilung der Pfeiftöne ja allgemein bekannt sind, die man gemeiniglich sogar um zwei Oktaven zu tief schätzt. Auch gewisse Flüstervokale kann man, wenn man den anblasenden Luftstrom etwas verstärkt, zum Pfeifen bringen, so *ü* und *ö*, auch *u*, wie Nagel hervorhebt, und Gutzmann sen. ebenfalls bestätigen konnte. Übrigens macht Helmholtz darauf aufmerksam, daß auch schon vor Donders ältere, wenn auch unvollständige Wahrnehmungen über denselben Gegenstand vorliegen, von Samuel Reyher, Chr. Hellwag, Flörke und Olivier. Pipping weist bezüglich der Analyse dieser geflüsterten Vokale auch noch auf die Mitteilungen von Merkel in dessen Laletik und von Krönig (1876) hin[1].

Auch die Klanganalyse durch die Perkussion entweder der Wangen (Helmholtz) oder des Kehlkopfes (F. Auerbach) oder der Zähne (J. Czermak und Helmholtz, Tonempf., S. 191) gehört

[1]) Eine vortreffliche historische Darstellung der gesamten Fragen und Untersuchungsmethoden ist in Grützners Physiologie (Handbuch von Hermann 1, 2) enthalten.

noch zu den rein subjektiven Untersuchungsmethoden. Erleichtert wurde diese Art der Untersuchung dadurch, daß man den Eigenton des Ansatzrohres durch verschiedene Mittel stärker zum Erklingen zu bringen suchte. Das Erklingen durch einfache Perkussion ist zwar intensiv, aber zu schnell abklingend und dementsprechend die Bestimmung der Resonanztöne auf diese Weise auch recht unzuverlässig. Deshalb blies Donders die Mundhöhle direkt an wie eine Pfeife. Sein Apparat bestand aus einer Röhre, die in eine schmale Spalte endete und vor dem Munde des Sprechers befestigt werden konnte. Wurde durch die Röhre ein Luftstrom geleitet, so hörte man den Eigenton der Mundhöhle. Ähnlich Hensen nach Grützner (Ergebnisse 1902, S. 490).

Durch Stimmgabeln, die vor die Mundöffnung in den verschiedenen Vokalstellungen gebracht wurden, suchte nach Wheatstone besonders Helmholtz die Resonanz der Mundhöhle festzustellen. Er nahm angeschlagene Stimmgabeln von verschiedener Höhe und brachte sie vor den geöffneten Mund, wobei dann der Ton der Stimmgabel um so stärker gehört wurde, je genauer er einem der Eigentöne der in der Mundhöhle eingeschlossenen Luftmasse entsprach. Da die Stellung der Mundhöhle willkürlich verändert werden kann, so kann man sie auch stets dem Ton einer gegebenen Stimmgabel anpassen und so leicht ermitteln, welche Stellungen man der Mundhöhle geben muß, damit ihre Luftmasse auf eine bestimmte Tonhöhe abgestimmt sei (Helmholtz, S. 171). Dabei stellte Helmholtz fest, daß die Tonhöhe der stärksten Mundhöhlenresonanz nur von dem Vokal abhängig war und sich ziemlich beträchtlich selbst bei kleinen Veränderungen in der Klangfarbe des Vokals, „wie sie etwa in verschiedenen Dialekten derselben Sprache vorkommen", änderte, daß dagegen die Eigentöne der Mundhöhle fast unabhängig von Alter und Geschlecht waren, daß sich dieselben Resonanzen bei Männern, Frauen und Kindern ergaben. „Was der kindlichen und weiblichen Mundhöhle an Geräumigkeit abgeht, kann durch engeren Verschluß der Öffnungen leicht ersetzt werden, so daß die Resonanz doch leicht ebenso tief werden kann, wie in der größeren männlichen Mundhöhle."

In gleicher Weise verfuhr König bei seinen Prüfungen. In anderer Weise versuchte Helmholtz die Analyse durch Anwendung seiner Resonatoren. „Man setze z. B. einen Resonator, der auf b^1 abgestimmt ist, an das Ohr und lasse nun eine Baßstimme, welche geübt ist, die Tonhöhe ganz festzuhalten und

die Vokale richtig zu bilden, auf einem der harmonischen Untertöne des b^1, sei es *b* oder *B* oder *Ges*, der Reihe nach die Vokale in gleichmäßiger Stärke singen. Man wird finden, daß bei einem reinen, voll tönenden *o* das b^1 des Resonators mächtig in das Ohr hineinschmettert. Demnächst ist derselbe Oberton in einem scharfen *ä* und einem Mittelton von *a* und *o* noch sehr kräftig, schwächer bei *a*, *e*, *ö*, am schwächsten bei *u* und *i*. Auch findet man leicht, daß die Resonanz des *o* sich merklich schwächt, wenn man es entweder dumpfer macht und dem *u* nähert, oder wenn man es offener bildet, daß es *a* wird. Nimmt man den Resonator eine Oktave höher, b^2, so ist es nun der Vokal *a*, welcher den Resonator am kräftigsten mittönen läßt, während das beim ersten Resonator kräftig wirkende *o* hier eine geringe Wirkung hat."

In genau der gleichen Weise verfuhr F. Auerbach; er sang die Vokale auf einem gegebenen Ton und brachte der Reihe nach an sein Ohr die verschiedenen Resonatoren, welche der Obertonreihe des betreffenden Tones entsprachen, verglich diese je zwei miteinander und notierte ihre relative Intensität. Dann sang er von neuem denselben Vokal auf einer anderen Note und begann nun dieselben Beobachtungen. Er führte diese Untersuchung auf den Tönen *c*, *g*, c^1 und g^1 aus.

In sehr interessanter Weise haben Paul von Grützner und Sauberschwarz die Frage zu lösen versucht, wie ein vokalischer Klang durch Änderung seiner Eigentöne beeinflußt wird, um auf diese Weise eine Analyse herbeizuführen. Sie legten sich die Frage vor: Was geschieht mit einem Vokalklange der menschlichen Stimme, wenn ihm dieses oder jenes charakteristische Tonelement genommen wird? und suchten diese Frage durch zweckmäßige Interferenzapparate zu lösen. Dabei ergab sich, daß durch Vernichtung oder Abschwächung des Grundtones die Vokale im allgemeinen weniger leiden (sie klangen mehr wie von fern), als durch Vernichtung ihrer charakteristischen Töne. Am widerstandsfähigsten zeigte sich das *a*; *u* und *i* dagegen büßten am leichtesten ihren charakteristischen Vokalklang ein.

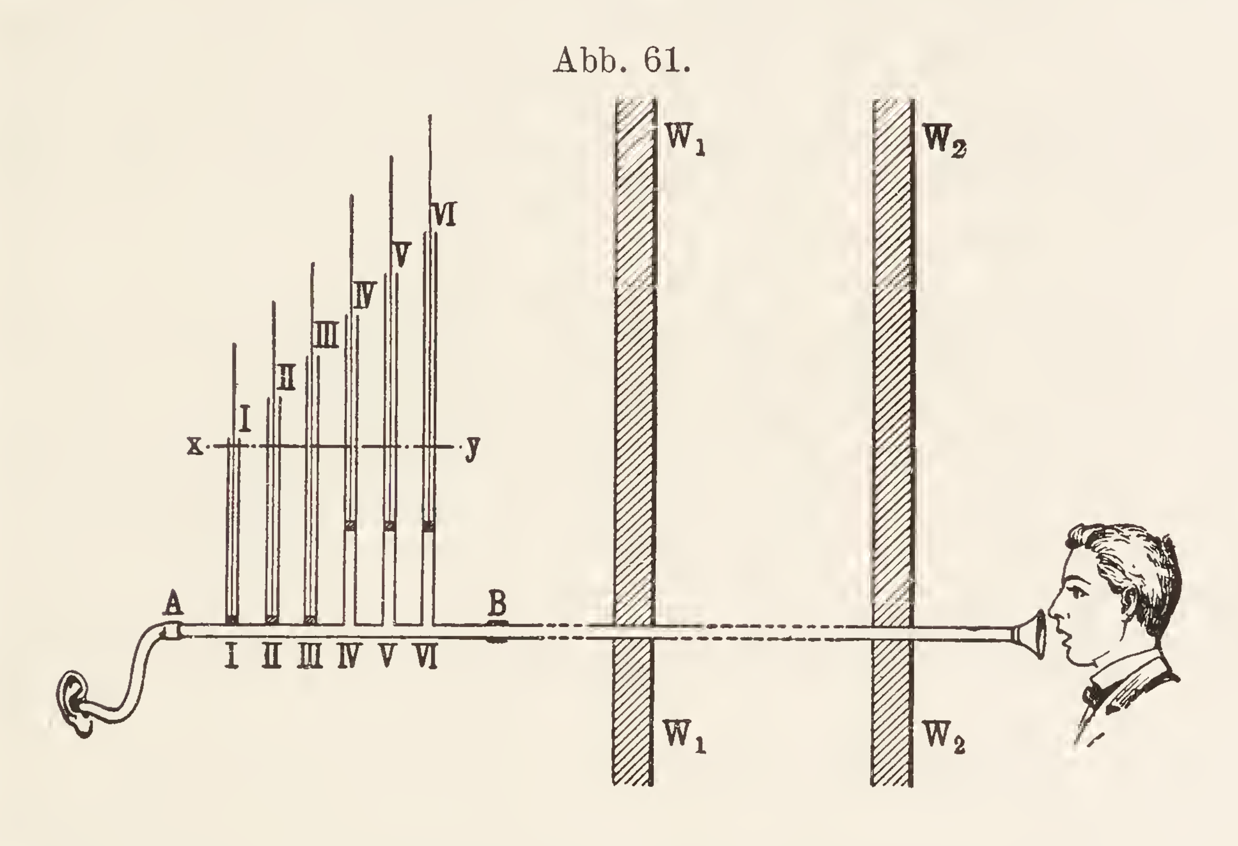
Der Quinckesche Interferenzapparat ist aus der Physik wohl bekannt.

Schon Quincke und Seebeck betonten, daß durch derartige Apparate einfache Töne nicht vollständig ausgelöscht, sondern nur mehr oder weniger abgeschwächt werden, weil der durch das längere Rohr verzögert anlangende Ton auch naturgemäß durch die längere Wegstrecke abgeschwächt ist, so daß immer ein stärkerer mit einem schwächeren Ton inter-

feriert und naturgemäß die gegenseitige Herabsetzung nicht auf Null gehen kann. Die Wirkung dieser Interferenz kann man aber bedeutend steigern, wenn man sie nicht einmal, sondern mehrere Male hintereinander hervorruft; würde z. B. durch die erste Interferenz der Ton auf $\frac{1}{n}$ seiner Intensität herabgesetzt, so würde eine nochmalige zweite Interferenz ihn auf $\frac{1}{n} \times \frac{1}{n} = \frac{1}{n^2}$ und eine dritte Interferenz auf $\frac{1}{n^3}$ herabsetzen.

Grützner und Sauberschwarz benutzten einen Interferenzapparat mit sechs seitlichen Ansatzröhren, bei dem durch mehrfache Interferenz die betreffenden Töne vollständig ausgelöscht wurden. Wichtig ist dabei, daß nur der durch den Interferenzapparat dringende Ton von dem Ohr aufgefaßt wird, und nicht etwa von dem anderen Ohr der primäre Ton wahr-

Abb. 61.



genommen wird. Deswegen muß die Zuleitung möglichst weit von dem Hörenden entfernt und durch Wände abgeschlossen sein.

Der Interferenzapparat mit dem Hörrohr befindet sich demnach in dem einen Zimmer in bequemer Höhe auf einem Tisch mit verschiebbarer Platte. Das Leitrohr AB setzt sich in der Länge von etwa 11 m durch die zwei Wände $W_1 W_1$ und $W_2 W_2$ eines zweiten Zimmers in ein drittes Zimmer fort, in welchem 2,5 m von der Wand entfernt eine trichterförmige Erweiterung der Leitung den Ton aufnimmt. Die ganze Leitung besteht aus drei innen ganz glatten Messingröhren von etwas über 3 m Länge und 10 mm innerer Weite, die durch kurze Kautschukstückchen miteinander verbunden und außerdem durch zweckmäßige Stützen in horizontaler Lage gehalten werden. Die Löcher in den Wänden $W_1 W_1$ und $W_2 W_2$ sind dicht mit Watte verstopft. Alle aus dem Zimmer führenden Türen sind natürlich fest verschlossen bzw. noch durch Teppiche verhängt.

So gelingt es, daß, wenn man sich das freie Ohr mit dem Finger zuhält oder sonstwie dicht verstopft, auch laut gerufene Klänge nur durch

das mit der Leitung verbundene Ohr, aber nicht auf anderem Wege gehört werden.

Der Interferenzapparat selbst besteht aus einem Leitrohr *A B* von 90 cm Länge und 10 mm innerer Weite. Dasselbe trägt am Ende *A* einen dickwandigen Gummischlauch von 67 cm Länge mit einem olivenförmigen Ansatz, der ins Ohr gesteckt wird.

Das andere gegenüberliegende Ende *B* ist, wie schon erwähnt, mit der langen Röhrenleitung durch ein kurzes, fest anliegendes Kautschukstückchen verbunden. Alle Knickungen sind sorgfältig vermieden. Die seitlichen Ansatzröhren I bis VI an der Röhre *A B* sind Messingröhren von derselben Weite wie die Röhre *A B*. Sie sind 50, 60, 70, 80, 90, 100 cm lang und in einem Abstand von je 10 cm rechtwinklig auf das Rohr *A B* aufgesetzt. Die erste und die letzte Röhre ist je 20 cm von *A* bzw. *B* entfernt. In den genau angeschliffenen Seitenröhren bewegen sich gut schließende Stempel mit hölzernen Führungsstielen, die in Zentimeter eingeteilt sind. Die Zahl 0 bezeichnet, daß der Stempel gerade bis an die ihm nächstgelegene Wand der Röhre *A B* heranreicht und diese selbst vollkommen freiläßt. Die anderen Zahlen geben dann die Länge der Ansatzröhren ohne weiteres an.

Grützner berichtete auf der Naturforscherversammlung in Halle über die ersten Versuche, daß, wenn man bei den Vokalen *a*, *o*, *u* den charakteristischen Ton auslöschte, sich in bestimmten Tonhöhen *a* in *o*, *o* in *u* und *u* in ein brummendes *m* verwandelte. Brachte man dagegen den Ton, auf welchem gesungen wurde, zur Interferenz, so änderte er sich wenig. Der Vokal wurde nur schwächer und klang wie aus der Ferne gesprochen. Grützner weist (Sauberschwarz, S. 16) darauf hin, daß Helmholtz schon auf die Tatsache aufmerksam gemacht hat, daß man aus zusammengesetzten Klängen die Obertöne oft unmittelbar heraushören könne, namentlich wenn man die Klänge aus der Ferne höre, und daß Seiler in Leipzig erwähnt habe, „daß er in schlaflosen Nächten, auf den Gesang des Nachtwächters lauschend, die Duodezime des Gesanges gehört habe und später erst den Grundton“. Gutzmann sen. fügt eine eigene Beobachtung hinzu. Er hörte den tiefen Glockenton seiner großen Wanduhr auf Cis in der Entfernung durch zwei abgeschlossene Zimmer hindurch in seinem eigenen Arbeitszimmer auf gis. Es scheint in der Tat diese Tonhöhenveränderung, wie sie Grützner hervorhebt, auch für die Beurteilung der Bauchrednerstimme von Bedeutung zu sein (Gutzmann sen.).

Aus Sauberschwarzschen und Stumpfschen Untersuchungen ergibt sich nun umgekehrt, daß man imstande ist, durch Auslöschen einer Reihe harmonischer Teiltöne aus einem Vokalklang diesen allmählich zu vernichten.

Zur Feststellung der Tonhöhe, aber nur zu dieser, beispielsweise bei schnellem Sprechen, läßt sich die Königsche manometrische Flamme verwenden. Marbe hat dafür ein einfaches und bequemes Verfahren angegeben, das bereits früher erwähnt ist.

Hierzu bemerkt Zwaardemaker, daß diese beiden Verfahren nur in beschränktem Maße brauchbar seien. Töne mit mehr als 1000 Schwingungen träten gar nicht hervor, und die, meistens auch schon physikalisch, kleinen Amplituden von Tönen über 600 Schwingungen könnten auch nicht aus den

Flammenkurven herausgelesen werden, während diese doch akustisch schon sehr hervorragten.

Ganz neuerdings hat C. Stumpf mit einem erheblich größeren Interferenzapparat gearbeitet. Er verwandte bis zu neun Röhrensystemen insgesamt 71 Seitenröhren. Stumpf hat, indem er systematisch die Vokale auf den verschiedensten Tonhöhen vom höchsten Teilton anfangend abgebaut hat, die Analyse geflüsterter und gesungener Vokale wohl ihrer endgültigen Lösung zugeführt. In den umfangreichen Versuchen wurde die Ansicht von Helmholtz, daß die Obertöne zum Grundton stets harmonisch seien, bestätigt. Eine Einschränkung ergibt sich nur aus der Feststellung einer gewissen Interferenzbreite. Sie beträgt nach Stumpf in den mittleren Lagen des Tonreiches nur etwa eine kleine Terz nach unten und nach oben. In höheren Lagen wächst sie etwas und kann von c^4 ab etwa auf eine große Terz, von c^6 ab auf eine Quart, bei c^7 auf eine halbe Oktave angesetzt werden (Stumpf, Sprachlaute, S. 43). Die Ergebnisse seiner Analyse konnte Stumpf durch die Synthese bestätigen. Für eine gute Synthese ist es nach Stumpf von ausschlaggebender Bedeutung, nicht nur die jedesmal notwendigen Teiltöne ihrer Zahl und Stellung nach richtig zu verwenden, sondern besonders wichtig ist das Stärkeverhältnis der einzelnen Teiltöne zueinander! Erst als hierauf ausdrücklich geachtet wurde, konnte eine einwandfreie Vokalsynthese erzielt werden. Im einzelnen zeigt sich bei den Stumpfschen Interferenzversuchen folgendes:

1. Mit steigender Höhe des Grundtones nimmt die Zahl der Teiltöne immer mehr ab.

2. Für den gleichen Grundton unterscheiden sich die Teiltonintensitätskurven der Vokale in charakteristischer Weise voneinander.

3. Die dunkleren Vokale sind durch tiefere, die helleren durch höhere Teiltöne ausgezeichnet (Reihenfolge: *U*, *O*, *A*, *Ö*, *Ä*, *Ü*, *E*, *I*).

4. Bei den helleren Vokalen von *Ö* an sind zwei Stärkemaxima in der Teiltonreihe vorhanden, die durch ein Minimum oder sogar durch eine Nullstrecke voneinander getrennt sind.

5. Die Maxima behalten für den gleichen Vokal auf verschiedenen Grundtönen ihre absolute Höhe bei.

6. Fast niemals wirkt ein einzelner Ton allein formierend, sondern immer eine Gruppe, innerhalb deren ein oder zwei Töne nur besonders stark sind.

Über Lage und Bedeutung der Formanten, wie der Nebenformanten (Oberformanten und Unterformanten), wie über die in gewissen Grenzen mögliche und nötige Verschiebung der Formantzentren muß ich auf das Buch von C. Stumpf hinweisen.

b) *Graphische Darstellung der Vokalklänge.*

Der erste, der eine graphische Darstellung der Vokalklänge versuchte, war F. C. Donders. Er benutzte dazu den Phonautographen von Scott und König, der ein ungefähr 50 cm langes, hohles Ellipsoid von Gips oder Metall darstellt, das an der einen Seite offen, an der anderen durch einen festen Boden bedeckt ist. In dessen Mitte ist ein kurzes Rohr eingesetzt, das durch eine elastische Membran von Goldschlägerhaut oder Kautschuk geschlossen wird. Auf diese Membran ist ein kleines Schreibfederchen aufgekittet. Die Vibrationen werden auf einen berußten Zylinder aufgezeichnet. Pipping bemerkt mit Recht, daß der Apparat für die Vokale *u* und *i* bei Donders nahezu einfache Sinuskurven schrieb und damit seine Unfähigkeit beweist, hohe Partialtöne überhaupt wiederzugeben. Auch Donders selbst hielt die Dämpfung der Membran für ungenügend, denn er sagt: „Große Verschiedenheit der Spannung und der Federchen modifizieren die relative Größe der den verschiedenen Partialtönen entsprechenden Amplituden."

Wir übergehen die Konstruktion älterer Phonautographen.

Da die Kurven stets sehr klein ausfielen, so kam E. W. Blake auf die Idee, an die Telephonmembran einen kleinen Faden aus Stahl zu befestigen und diesen mit einem drehbaren Spiegelchen in Verbindung zu bringen. Die geringsten Bewegungen des von einem Sonnenstrahl beleuchteten Spiegelchens wurden auf eine mit gleichmäßiger Geschwindigkeit bewegte photographische Platte übertragen.

Hermann benutzte in seinen ersten Arbeiten kleine Silberspiegel, die zunächst 10 mm, dann 5 mm Durchmesser hatten. Hermann ließ eine vertikale Fläche ansingen oder ansprechen, die entweder aus einer Eisen-, Glimmer-, Holz- oder Papierplatte oder aus einer gespannten Membran bestand. Auf diese lehnte sich das genannte Spiegelchen, welches infolge der Schwingungen der Anschlußfläche um eine vertikale Achse schwang. Vor einer Bogenlichtlampe befand sich ein vertikaler Spalt seitwärts etwa 2 cm vom Spiegelchen angebracht, und dicht vor dem Spiegelchen, zwischen dem Spiegel und dem Spalt, war eine gewöhnliche Konvexlinie von 1 bis $1^1/_2$ Dioptrien eingeschaltet, mittels deren das Spiegelchen ein reelles verkleinertes Bild des Spaltes lieferte, das auf einer schwarzen Blechplatte mit einem feinen horizontalen Spalt aufgefangen wurde. Durch die Schwingungen des Spiegelchens verschob sich das vertikale Spaltbild parallel mit sich selbst in

horizontaler Richtung, so daß der aus der Kreuzung des Bildes mit dem Spalt hervorgehende Lichtpunkt horizontal oszillierte. Diese Oszillationen wurden, indem sie auf eine dicht hinter dem Spaltblech sich in vertikaler Richtung bewegende empfindliche Papierfläche fielen, unmittelbar photographiert, und zwar entweder mittels eines mit photographischem Papier überzogenen Kymographions oder mittels einer einfachen Kamera, bei der nur die Schlitze um 90^0 gedreht waren, so daß der nun vor der photographischen Platte stehende senkrechte Spalt mit der Hand vor der Platte vorbeigezogen werden konnte. Hermann erzielte auf diese Weise graphische Darstellungen, die, wie er selbst sagt, nach dem Urteile aller, welche sie gesehen haben, hinsichtlich ihrer Deutlichkeit, Feinheit und Eleganz alles bisher Bekannte übertrafen.

Der im Jahre 1878 erfundene Phonograph von Edison wurde schon bald nach seiner Bekanntmachung sofort von Forschern dazu benutzt, um eine graphische Analyse der Vokalklänge damit anzubahnen. Die meisten Autoren benutzten dazu Fühlhebel, die sie in den Glyphen des Phonographen gleiten ließen, und deren Bewegung sie auf berußte Flächen übertrugen. In dieser Weise haben Fleeming, Alfred M. Mayer, Jenkin und J. A. Ewing gearbeitet, ebenso J. Lahr, Fick und in neuerer Zeit Scripture. Das Prinzip derartiger Übertragungen der Vertiefungen in gewöhnliche Kurven ist stets das von Alfred M. Mayer zuerst angegebene. Er ließ einen Fühlhebel mit dem kurzen Arm in die Vertiefung sinken, so wie der Stift der Membran des Phonographen es bei der Reproduktion der Laute tut, „während der längere Arm einer gleichmäßig fortbewegten berußten Glasplatte das vergrößerte Profil der Vertiefungen aufzeichnete". Am umfangreichsten und mit zum Teil außerordentlich komplizierten Apparaten ausgeführt sind in dieser Weise die Versuche von Scripture. Alle diejenigen aber, welche die Versuche dieses Forschers mit anzusehen Gelegenheit hatten, sind der Meinung, daß die von ihm verwendeten Maschinen zur vergrößerten Nachzeichnung der Glyphik Resultate geben müssen, die nicht zu einer feineren Analyse verwendet werden können, da die in Bewegung gesetzten Massen zu erheblich waren, und man annehmen kann, daß die so erzeugten Kurven eine große Reihe von Fehlern aufweisen. Nagel ist der Meinung, daß man den Apparat höchstens zur Untersuchung der Stimmhöhe und des Akzents benutzen könne.

Einen neuen Weg der graphischen Aufzeichnung der Sprachklänge beschritt Hensen. Er berichtet darüber in seiner Arbeit „Über die Schrift von Schallbewegungen". Er beschreibt seinen Apparat als Sprachzeichner, erwähnt, daß er bereits in Grützners Physiologie abgebildet wurde, und stellt als wünschenswert hin, daß bei der Konstruierung eines Apparates davon ausgegangen werde, daß Bewegungen, die das Trommelfell selbst mache, um uns die Schallwellen zu übermitteln, möglichst zur Analyse gebracht würden. Zur Nachahmung des Trommelfells benutzte Hensen eine Membran aus Goldschlägerhaut, die auf eine Trommel von 36 mm Durchmesser aufgebunden, dann durchfeuchtet und mit Hilfe eines Holzzylinders

mit konischem Ende, der genau in die Trommel hineinpaßt, trichterförmig vorgetrieben wird. Auf der Spitze des Holzkeiles liegt ein kleines Metallplättchen, gegen welches der Schreibhebel angeschraubt wird. Wenn dann die Haut trocken geworden ist, behält sie die trichterförmige Gestalt bei, und man kann den Holzzylinder entfernen. Der Schreibhebel ist auf diese Weise auf die Mitte der trichterförmig ausgestülpten Membran befestigt. Er dreht sich um eine Achse, welche am Rande der Trommel befestigt ist. An der Spitze des Aluminiumschreibhebels ist rückläufig eine feine Feder angebracht. An ihrer Spitze wird auf einem Schlitten eine fein berußte Glasplatte vorbeigezogen. Pipping ließ später einen kleinen Diamanten die Kurven direkt auf die Glasplatte einschneiden. Koehler hat sein eigenes Trommelfell mit einem Spiegelchen versehen, dessen Lichtstrahl Kurven zeichnete.

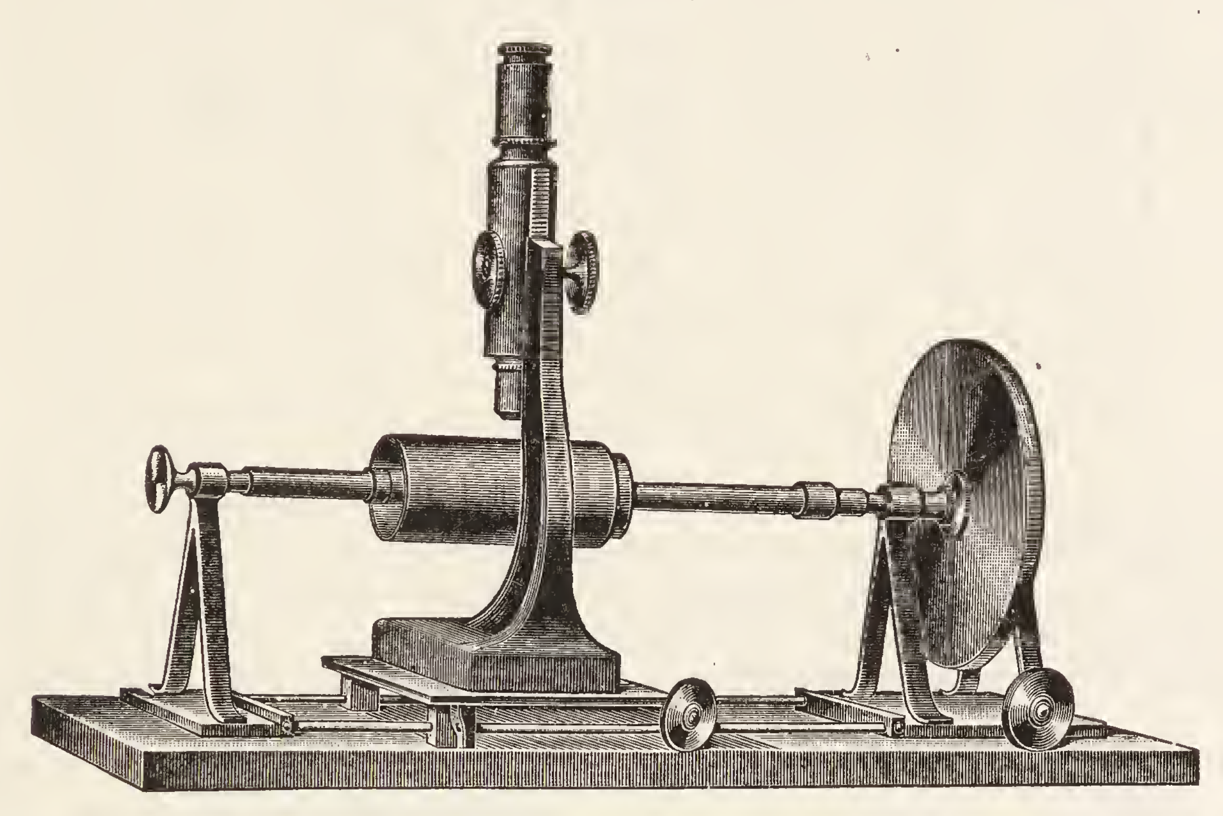
Endlich hat Hermann den Phonographen benutzt und den Reproducer durch einen besonders konstruierten, in seine Fassung passenden Aufnahmeapparat ersetzt, der das gleiche kugelige Köpfchen benutzt, welches am Reproducer angebracht zu sein pflegt. Die Bewegungen des kugeligen Köpfchens werden auf ein Spiegelchen übertragen, und das weitere Verfahren ist genau so, wie früher beschrieben. Um möglichst keine Eigenschwingungen des Spiegelreproducers herbeizuführen, wurde eine sehr langsame Drehgeschwindigkeit des Phonographenzylinders benutzt, wozu Hermann ein Uhrwerk mit Foucaultschem Regulator anwandte. Das Hermannsche Verfahren hat vor allen bisherigen den außerordentlichen Vorteil, daß man dabei die Kurven so hoch machen kann, wie man will. Man braucht ja nur den schreibenden Lichtstrahl möglichst lang zu machen. Ebenso kann man die Kurven beliebig lang machen oder sie auch gedrängt darstellen; man braucht nur die Geschwindigkeit des phonographischen oder des photographischen Registrierzylinders zu regulieren: je langsamer ersterer und je schneller letzterer sich dreht, desto mehr auseinander gezogen werden die Kurven. Dann ist es von außerordentlichem Vorteil, daß man jederzeit die Walze wieder abhören und sich fortwährend mit dem Ohr davon überzeugen kann, daß die so aufgenommenen Kurven wirklich der Glyphik des Phonographenzylinders entsprechen. Bei den neueren Edisonschen Phonographen, mit denen Hermann bereits gearbeitet hat, ist die Wiedergabe so ausgezeichnet, daß die auf diese Weise gewonnenen Klangkurven, soweit wir dies heutzutage mit unseren Mitteln überhaupt erreichen können, jedenfalls als ziemlich zuverlässig angesehen werden können. Auch Hensen versuchte, seinen Sprachzeichner die aufgesprochenen Klänge wiedergeben zu lassen. Er betont, daß der Apparat wegen der großen Dämpfung sehr leise spricht, meint aber, daß er deutlich spräche. Noch bessere Resultate schien das Poulsensche Telegraphon zu versprechen.

In ganz anderer Weise verfuhr Boeke, der die Breite der in das Wachs eingegrabenen phonographischen Glyphen ausmaß und aus der Breite die Tiefe berechnete. Die direkte Tiefenmessung erwies sich als unnötig, da Breite und Tiefe eines Eindrucks das gleiche Verhältnis zeigen, wie das der Ordinate zur Abszisse einer Ellipse, deren große Achse der Diameter des zylindrischen Durchmessers und deren kleine Achse dessen Radius ist. Die Tiefe des Einschneidens des Hohlmessers, bevor die phonographische Membran besprochen wird, hat keinerlei Einfluß auf die Gestalt der Kurven,

da ja deren Ordinaten sämtlich mit demselben Werte vermehrt werden. Den Diameter des Hohlmessers bestimmte er durch Einschneiden desselben in den Paraffinüberzug einer Glasplatte, die unter dem Mikroskop mittels Okularmikrometers untersucht wurde, zu 77 Mikrometerteilen, deren Wert mittels Objektivmikrometers zu 0,0135 mm bestimmt war, so daß als Durchmesser des Hohlmessers 1,035 mm gefunden wurden. Sehr praktisch ist die Anordnung des mit den Glyphen versehenen Wachszylinders unter einem verschiebbaren Mikroskop, wie es die Abb. 62 zeigt. Besonders die Höhen der gesprochenen Laute lassen sich mit dem Boekeschen Apparat außerordentlich schnell und leicht bestimmen, und wir haben bereits gesehen, welche praktischen Anwendungen dieses Untersuchungsverfahren gefunden hat.



Abb. 62.



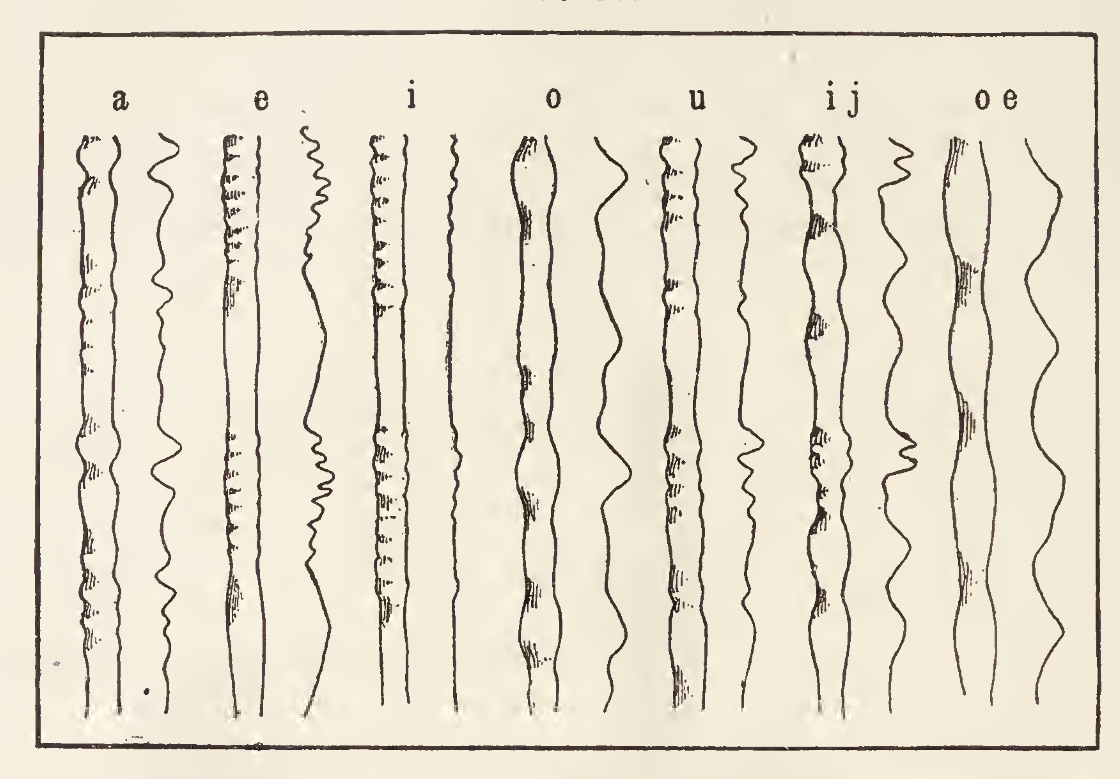
Eine genauere Beschreibung jener Berechnung gibt Boeke in seiner zweiten Arbeit, S. 498.

Von der Form der Einkerbungen sowie den aus den Einkerbungen durch die genannte Berechnung erschlossenen Kurven gibt Abb. 63, die ich aus der Boekeschen Arbeit abgezeichnet habe, eine recht gute Anschauung. Von *a*, *e*, *i*, *o*, *u*, *ij*, *oe* sind zwei einander folgende Perioden wiedergegeben, und zwar in der Stimmnote von 200 Schwingungen, also gis. Von diesen Vokalen werden *a*, *e*, *i*, *o* im Holländischen fast genau so ausgesprochen wie im Deutschen. Der im Holländischen mit *u* bezeichnete Vokal klingt wie *ü* im deutschen Worte „führen“. Das *ij*, das gewöhnlich wie der deutsche Diphthong *ei* klingt, zeigt sich im Holländischen in geschlossenen Silben in so gleichmäßigen Perioden, daß man einen einfachen Vokal annehmen kann. Das holländische Buchstabenzeichen *oe* entspricht dem deutschen *u* in „du“ und „Uhr“.

Ein anderes Verfahren hat Samojloff angegeben, der eine dünne Korkscheibe als schwingende Membran verwandte, die ihre Bewegungen

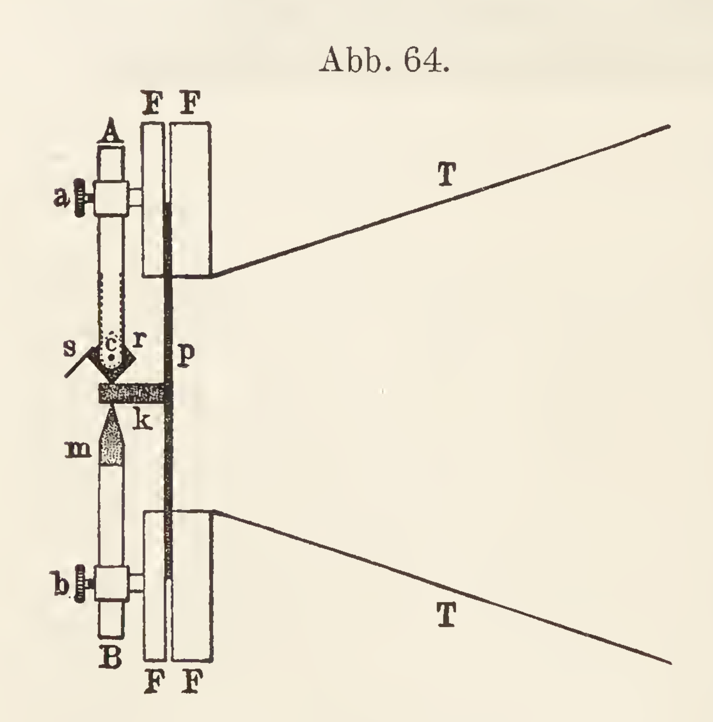
ebenfalls durch eine einfache Anordnung überträgt, deren Prinzip der Spiegelanordnung s (siehe Abb. 64) mit dem Apparat von Rigollett und Chavanon gleich ist. Man kann, wie Nagel hervorhebt, den Samojloffschen Apparat auch zur Demonstration der Vokalkurven vor einem großen

Abb. 63.



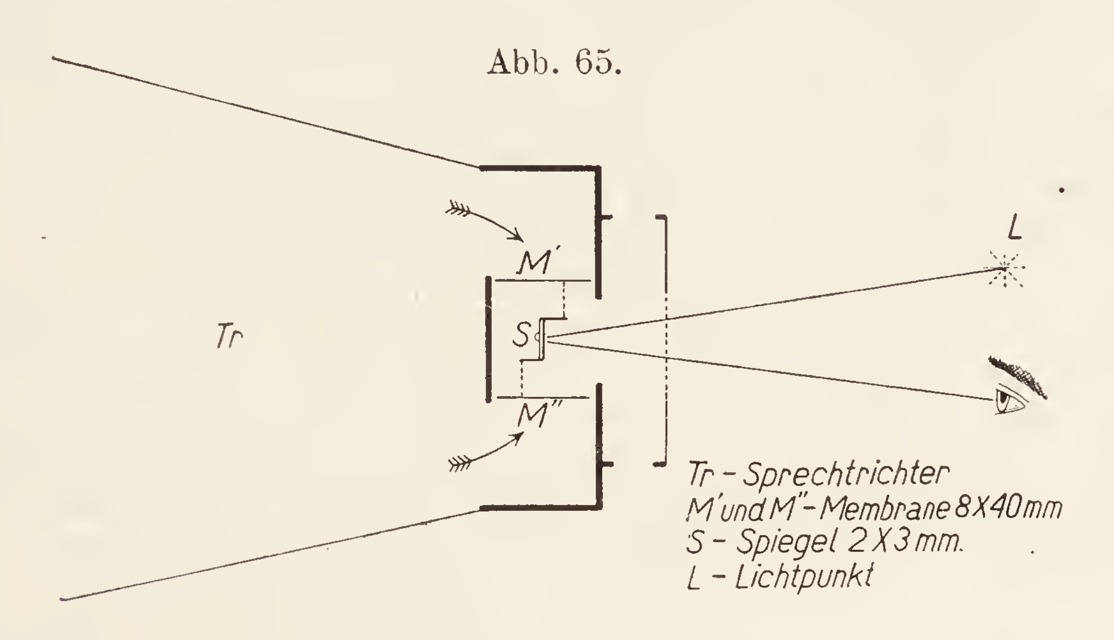
Auditorium benutzen, indem man den oszillierenden Lichtstrahl auf einen Königschen Spiegel fallen und von diesem auf eine weiße Wand reflektieren läßt. Die Korkmembran ist übrigens zuerst von Lebedeff empfohlen worden. Schon Samojloff betont gegenüber den vielfachen Versuchen Hermanns an Membranen aus Eisen, Glimmer, Glas, Karton usw., daß die nicht elastischen, leicht biegsamen, aus Seide, Tuch u. dgl. geschnittenen Membranen den Vorzug verdienen, da sie keinen ausgesprochenen Eigenton besitzen, und hebt hervor, daß es bekannt sei, daß Edison bei der Konstruktion seines Phonographen von Anfang an eine Seidenmembran angewendet habe. Der Nachteil dieser biegsamen Membranen bestehe nur darin, daß man sie nicht sicher genug mit einem Spiegel bzw. mit einem Hebel verbinden könne. Spanne man sie, um ihnen einen festen Halt zu geben, sehr stark, so verlören sie ihre Vorzüge und würden ebenso unbrauchbar wie gedehnte Gummimembranen. Das ist der Grund, weswegen er die Korkmembran Lebedeffs zu seinen Versuchen angewandt hat.

Abb. 64.



Nun ist in neuerer Zeit Struycken-Breda zur Konstruierung eines ganz anderen Apparates für die graphische Darstellung der Vokalklänge gekommen. Struycken benutzte die Erschütterungen zweier gegenüberliegender Seitenwände eines vorn offenen Kästchens. Sie sind gefertigt aus dünnen glatten, aber ungespannten Blättchen von chinesischem Seidenpapier. Außerordentlich feine dünne Metalldrähtchen gehen von jeder der beiden Papierflächen, die übrigens die Seitenflächen jenes Kästchens nicht etwa luftdicht abschließen, sondern zwischen ihrem Hinterrand und den beiderseitigen Kanten der hölzernen Hinterwand einen Schlitz frei lassen, zu zwei Querarmen, die am unteren Rande eines sehr kleinen Spiegels angebracht sind. Die Winkel zwischen den Querarmen und den von den Seitenflächen ausgehenden feinen Metalldrähten werden mit einem Kautschukfaden hergestellt, so daß sie gleichsam ein außerordentlich leicht bewegliches Gelenk bilden. Treten nun Schallwellen in das Kästchen hinein, so werden die beiden Seitenmembranen in entgegengesetzte Schwingungen geraten und bei der Vergrößerung der Entfernung voneinander den rechten Winkel

Abb. 65.



zwischen den Drähten und dem Querarm (Abb. 65) zu einem mehr oder weniger stumpfen, bei gegenseitiger Annäherung der Papierwände zu einem mehr oder weniger spitzen Winkel umformen. Diesen Bewegungen entsprechend, dreht sich der kleine Spiegel um eine vertikale, ideelle Achse und bewegt so den von der Lichtquelle auffallenden Lichtstrahl den Schallwellen entsprechend hin und her. Durch diese entgegengesetzten Bewegungen der Membranen wird auch die kleinste Bewegung als Drehung am Spiegelchen bemerkt. Es werden Membranamplituden von $^1/_{6000}$ mm vom Auge noch als Wellen von $^1/_{10}$ mm wahrgenommen. Wollte man nun den Spiegel durch ein Fernrohr direkt beobachten, so würde man eine leuchtende Linie sehen. Ein vor dem Okular des Fernrohres befindliches Prisma biegt aber den Strahl nicht nur nach oben um, sondern verlegt die Linie auch durch fortwährendes hin und her Drehen nach Art des Königschen Spiegels in eine Kurve. Das Prisma wird nämlich durch ein kleines Uhrpendel um die Längsachse der spiegelnden Fläche hin und her gedreht.

Der gesamte Apparat ist außerordentlich empfindlich, wie Gutzmann sen. aus eigener Anschauung bezeugt. Hält man vor das Kästchen

eine Stimmgabel, so sieht man die Sinuskurve im Prisma erscheinen. Jedes Geräusch, jedes Sprechen im Untersuchungszimmer wird in Kurven wiedergegeben.

Sehr fein reagiert auch das Phonoskop von Otto Weiss, das noch auf 10 m leise gesprochene Vokale anzeigt, und mit dem man geflüsterte Vokale aufnehmen können soll. Auch soll es beweglich genug sein, um das tonlose *ss* (etwa 6000 Schwingungen) wiederzugeben. Als Membran dient eine feine, die Newtonschen Farben zeigende Seifenhaut, auf welcher mittels abgebogener Öse ein feiner versilberter Glashebel angelegt ist. Die Bewegungen des Hebels werden photographisch registriert. Die Seifenhaut wiegt höchstens 0,05 mg, der Glashebel höchstens 0,0035 mg, das Gesamtgewicht des schwingenden Systems ist also höchstens 0,0535 mg, ein bisher allerdings wohl kaum erreichtes Mindestgewicht (Pflügers Arch. **123**, 341, 1908).

Zwaardemaker bemerkt hierzu, daß sich Spannung und Masse bei kleinsten Seifenmenbranen jeden Augenblick ändern. Daher stießen gerade hierbei Kontrolle und Korrektion auf unüberwindliche Schwierigkeiten.

Ganz ohne jegliche Membran arbeitet die von Raps angegebene Methode, der die erzitternde Luft unmittelbar in ihren jeweiligen Verdichtungen und Verdünnungen photographiert. Grützner gibt von der Methode folgende Beschreibung: „Denken wir uns zwei Lichtbündel, etwa zwei von einem ausreichend entfernten Punkte ausgehende, auf die Randpartien einer konvexen Linse auffallende Lichtbündel, die natürlich nach der Brechung wieder in einen Punkt jenseits der Linse vereinigt werden. Läßt man eines dieser Lichtbündel durch ein dichteres Medium gehen, so wird es in seinem Wege verzögert und kann mit anderer Phase in dem Vereinigungspunkt ankommen, also mit dem zweiten z. B. so interferieren, daß Dunkelheit in dem betreffenden Punkte eintritt. Geht nun dieser zweite Lichtstrahl durch eine tönende Luftschicht, die fortwährend ihre Dichte ändert, so entstehen, wie leicht begreiflich, fortwährend Schwankungen der Interferenz. Bald eilt dieser Lichtstrahl, wenn sich die Luft verdünnt, dem anderen voraus, bald bleibt er, wenn sie sich verdichtet, zurück.“ So hat Raps die Kurve der Vokale *a*, *o*, *u* photographiert, seine Kurven sind aber nicht so fein wie Hensensche oder Hermannsche.

Marbe hat seine Acetylenflamme direkt durch die Luft angesprochen, also ohne Zwischenschaltung einer Membran. Dabei zeigen sich deutlich neben den stark geschwärzten Ringen des Grundtons noch mehrere Obertonringe. Eine Stimmgabel gibt ganz einfache Ringe. Wieweit die Strömungsgeschwindigkeit des Gases dabei die Kurven beeinflußt, müßte noch untersucht werden. Doumer benutzte bereits bei seinen Versuchen mit der Königschen Flamme möglichst niedrige Flammen (2 mm hoch!), die er dadurch hellbrennend und photographierbar machte, daß er sie in Sauerstoff brennen ließ. Seine Kurven von *i* und *a* zeigen deutlich die kleinen Obertonzacken innerhalb der großen Vokalperiode; sie sind in Rousselots Werk abgebildet (S. 394).

Einthoven und Hoogerwerf benutzen einen undurchsichtigen gespannten Quarzfaden, der bis zu 32 000 Schwingungen verzeichnet. Langsamere Schwingungen werden schwach oder überhaupt nicht wiedergegeben.

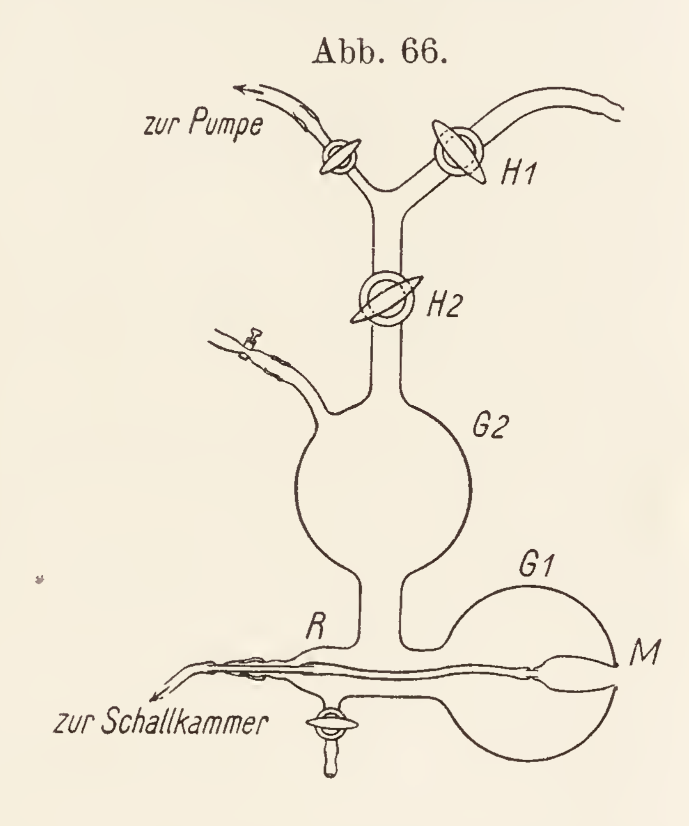
Mit dem Apparat können daher z. B. schwache Teiltöne gesondert aufgenommen werden.

Ein ganz anderes Verfahren stammt aus neuerer Zeit und stützt sich auf die Benutzung der Oszillographen. Hauptsächlich englische Forscher (Duddel, Shepherd, Cohen) haben oszillographische Aufnahmen von Telephonströmen gemacht.

Garten hat einen automatischen, harmonischen Analysator angegeben, mit dem auch unharmonische Teiltöne analysiert wurden. Ich gebe hier Gartens eigene Beschreibung wieder und füge auch die Abbildung bei.

„Wie beistehende Abb. 66 zeigt, besteht der Apparat aus zwei durch ein 2,5 cm weites Rohr verbundenen Hohlkugeln aus Glas, G_1 und G_2. Die Glasstärke derselben muß so gewählt sein, daß sie beim Evakuieren dem Luftdruck Widerstand leisten können. Die untere Glaskugel G_1 hat an ihrem unteren Ende einen Ablauf mit Hahn für das zur Füllung dienende Glycerin. Ferner besitzt diese Kugel an der einen Seite in der Höhe ihres Äquators eine runde Öffnung M von 15 mm Durchmesser, an deren Rand das Glas einen nach außen aufgeworfenen Ring bildet, der zur Befestigung des kugelförmigen elastischen Resonators dient. Diese Öffnung stellt also die Mundöffnung des Resonators dar. Auf der gegenüberliegenden Seite der Kugel setzt sich ein hoher Ansatz R von 30 mm Durchmesser und 80 mm Länge an, der sich in ein Glasrohr verjüngt, durch das ein zweites engeres Glasrohr von außen eingeschoben wird, das die Luft des Resonators mit dem Schallschreiber mittels Gummischlauch in Verbindung setzt."

Abb. 66.



Der elastische Resonator wird gebildet von einem besonders zu diesem Zwecke aus starkem Gummi von vorzüglicher Güte hergestellten Kondom.

„Von der oberen Glaskugel G_2 geht ein vertikales Rohr ab, an dem sich ein Hahn H_2 befindet, durch dessen Stellung die Geschwindigkeit des Luftdurchtritts geregelt wird. Das Rohr teilt sich an seinem oberen Ende in zwei Äste. Der eine Ast, der ebenfalls mit Hahn versehen ist, steht mit der Wasserluftpumpe in Verbindung. Der zweite Ast trägt den Hahn H_1, bei dessen Öffnung der Eintritt der Luft plötzlich freigegeben wird". Die Geschwindigkeit des Zusammenfallens des Gummiresonators wurde von Garten anfangs durch sorgfältige Einstellung des Hahnes H_2 geregelt. Später „wurde das Umdrehen des Hahnes H_1 durch ein am Rohrende oberhalb von H_1 angebrachtes Ventil ersetzt, das bei Beginn der Aufnahme auf elektromagnetischem Wege geöffnet wurde, so daß die zur Aufnahme dienenden Filmstreifen sehr vollständig ausgenutzt werden konnten".

„Um den Apparat in Betrieb zu setzen, wird der geeignete Kondom zunächst an seiner Spitze aufgeschnitten, so daß eine Öffnung von 1 bis 2 mm entsteht, und sodann über einen dickwandigen Gummischlauch bis kurz vor dessen Ende gezogen. Hier ist in den Gummischlauch ein kurzes Stück Glasrohr eingeschoben, und auf diesem wird der Kondom festgebunden. Der Gummischlauch wird sodann mit seinem anderen freien Ende auf das Glasrohr aufgeschoben, das durch den Rohransatz R der unteren Kugel ins Freie geht. Ein über das innere und äußere Glasrohr gezogenes Stück Gummischlauch bewirkt den luftdichten Abschluß. Nun wird das andere breite Ende des Kondoms durch die kreisförmige Mundöffnung M nach außen gezogen und im Innern der Kugel das Glasrohr und der Gummischlauch so weit vorgeschoben, daß bei kleinster Form des kugelig aufgeblasenen Kondoms keine Zerrung und Deformierung durch den Schlauch eintritt. Der Kondom wird dann um den verdickten Rand der Öffnung umgelegt und mit einem Faden gut festgebunden. Da namentlich die dickeren Kondoms sich hierbei leicht in Falten legen und dadurch kleine Undichtigkeiten entstehen können, wird der Rand des ringsum nach der Ligatur abgetragenen Kondoms mit einer zähen Gummilösung bestrichen. Hierauf füllen wir, am besten schon unter Saugwirkung der Wasserleitung, die untere Kugel mit verdünntem Glycerin, bis dasselbe im Zwischenstück zwischen beiden Kugeln steht. Nun wird der zum Glyceringefäß führende Hahn abgedreht, und bei weiterem Ansaugen der Wasserluftpumpe sieht man, wie die Gummikugel sich, während das Glycerin aus der unteren in die obere Kugel überströmt, immer weiter dehnt, um gegebenenfalls schließlich die ganze untere Glaskugel zu erfüllen. Wird nach Herstellung der gewünschten Größe der zur Saugpumpe führende Hahn abgedreht, so bleibt, Dichtigkeit vorausgesetzt, der Hohlraum dauernd in gleicher Größe bestehen. Öffnen wir aber den Hahn, der dem Luftzutritt dient, so fällt je nach Regulierung des Stellhahnes H_2 der Ballon mit größerer oder geringerer Geschwindigkeit gleichmäßig zusammen. In den letzten Stadien des Zusammenfallens freilich verliert er die Kugelform und geht in die Form eines Rotationsellipsoids über, um sich schließlich unregelmäßig in Falten zu legen. Dieses letzte Stadium kommt natürlich für die Resonanzversuche nicht mehr in Betracht, doch haben wir bei geringerer Abweichung von der Kugelform, wenn der Kondom ein Rotationsellipsoid mit relativ geringer Differenz der Achsen darstellt, noch brauchbare Resonanzwirkungen erhalten. Den Umfang des Resonanzbereiches kann man durch Anblasen des Hohlraumes und Vergleich der erhaltenen Töne mit denen eines Harmoniums oder dergleichen ungefähr bestimmen. So haben wir Resonatoren benutzt, deren höchste Töne bei h^3 und deren tiefste bei *gis* lagen, die also die Teiltonbestimmung über mehr als drei Oktaven gestatteten. Man wäre also in der Lage gewesen, vom Grundton an bis zum achten Teilton einen Klang mit dem Apparat zu analysieren.

Zur Verbindung des Resonators mit der Kammer des Schallschreibers — es wurde der von Garten angegebene Schallschreiber mit sehr kleiner Seifenmembran verwandt .— dient ein Gummischlauch mit Seitenöffnung. Ohne diese würde beim raschen Zusammenfallen der elastischen Kugel, trotz der weiten Öffnung des Resonators auf der dem Sänger zugewendeten Seite, eine Verschiebung der Seifenmembran durch den Luftdruck eintreten.

Für die Registrierung mußten wir, um die raschen Teilschwingungen auf der lichtempfindlichen Schicht eben noch sehen und ausmessen zu können, meist eine je nach Fragestellung verschiedene Trommelgeschwindigkeit bis zu ungefähr 0,25 m benutzen. Für die meisten Kurvenanalysen reichen Filmstreifen von 25 mm Breite und 250 mm Länge aus. Sie wurden in einer besonderen Rollkassette aufgespannt, die in das von Garten beschriebene Photokymographion eingesetzt wurde.“

Broemser und O. Frank haben eine sehr gut arbeitende Kapsel zur Schallschreibung angegeben: „Die Vorrichtung besteht aus einer Kapsel, auf deren etwa 0,8 bis 1,0 cm weitem kreisförmigen Rand eine Platte aufgepreßt ist. Als Material für die Platten ließen sich Glas, Kollodium oder dergleichen anwenden. Sie sollen, wie der einfache Ausdruck für die Güte des Registrierinstruments vorschreibt, möglichst dünn sein. Wir sind vorläufig bei Glimmer stehengeblieben. Die Wahl des Stoffes ist eine mehr sekundäre Sache. Ist durch die Theorie der richtige Weg gezeigt, so braucht man sich ja nur irgend eine Zusammenstellung der maßgebenden Materialkonstanten zu verschaffen, um einen zweckmäßigen Stoff auswählen zu können. Die Theorie ersetzt die unklaren, mystischen Eigenschaften der Stoffe durch präzise Größen. Wir behalten uns vor, nach Bedarf zu einem anderen Stoff überzugehen. Auf die Glimmerplatte ist ein kleiner, 1 qmm großer dünner Spiegel aufgeklebt. Bei den Versuchen war der Spiegel 0,2 mm dick. Wir werden aber in Zukunft einen 0,05 mm starken verwenden. Es ist auch nicht ganz ausgeschlossen, daß der Spiegel ganz vermieden werden kann, und daß man die Spiegelung des Strahles direkt an der versilberten Glimmerplatte vor sich gehen läßt. Wesentlich ist die Wahl der Stelle, an welcher der Spiegel angebracht ist. Wir bringen ihn dort an, wo die Platte bei der — statischen — Durchbiegung durch einen auf die Platte wirkenden hydrostatischen Druck die stärkste Neigung erhält. Dieser Punkt läßt sich aus der Durchbiegungskurve ermitteln. Er liegt in einer Entfernung von $r/\sqrt{3}$ vom Mittelpunkt der Platte. Vor der Platte, d. h. auf der der Schalleinwirkung entgegengesetzten Seite, ist eine möglichst seichte Kapsel angebracht. Ihre Tiefe mißt nur wenige zehntel Millimeter. Diese Kapsel ist vollständig geschlossen bis auf eine kleine Öffnung. Die Reibung der Luft in dieser feinen Öffnung soll die Dämpfung der Schwingungen erzeugen. Damit aber wirklich diese Reibung zur Wirkung kommt, muß der Luftraum in der Vorkapsel sehr klein sein. Das läßt sich leicht aus dem Volumenelastizitätskoeffizienten der Platte im Zusammenhang mit demjenigen des Luftraumes berechnen. Man kann die Notwendigkeit einer Verkleinerung dieses Luftraumes aber unmittelbar einsehen, wenn man sich überlegt, daß, wenn der Luftraum unendlich groß würde, selbstverständlich die Reibung überhaupt nicht zur Geltung käme.“

Für alle solche Klangaufnahmen mit Membran oder Spiegel gilt als Gesetz, daß nur Schwingungen, die unterhalb der Eigenschwingung des Registrierapparates liegen, dynamisch richtig, höhere aber gedämpft wiedergegeben werden (O. Frank).

Da nun die früheren Klangkurven das Frank sche Gesetz nicht berücksichtigen, so müssen wir auf deren Wiedergabe verzichten. Sie haben nur noch historischen Wert. Nur Struycken, Broemser, Garten und Trendelenburg nehmen in ihren neueren Arbeiten darauf Rücksicht.

Struycken gibt einen besonderen Korrektionsabakus an, der aber nach Broemsers Ansicht nur mit Vorsicht anzuwenden ist, da sich Struycken im Prinzip der dynamischen Vorgänge geirrt habe.

Broemser selbst gibt eine einfache Korrekturmethode an, mit der aber wiederum Garten nicht völlig zufrieden ist. Garten arbeitete bei seinen Versuchen mit dem von ihm angegebenen Schallschreiber mit sehr kleiner Seifenmembran, welch letztere so gut wie gar keinen Eigenton besitzt. (Ihre höchste erreichbare Eigenfrequenz liegt etwa bei 2000 sec^{-1}.)

Trendelenburg hat für seine Aufnahmen das von H. Riegger konstruierte Kondensatormikrophon verwandt. Die Eigenfrequenzen der zur Aufzeichnung benutzten Oszillographenschleifen lagen bei 7000 sec^{-1}.

Der Forschungsvorgang sowie die Ergebnisse der letztgenannten Arbeiten müssen an Ort und Stelle nachgelesen werden, da sich Einzelheiten erstens schlecht aus ihrem Zusammenhang lösen lassen und zweitens in gekürzter Darstellung unverständlich bleiben müßten.

c) Klangkurven.

d) Analyse der Klangkurven.

Die Klangkurven kann man sich entstanden denken durch Zusammensetzung einfacher pendelartiger Schwingungen. Andererseits kann man jede Kurve, welche eine zusammengesetzte Klangmasse wiedergibt, in eine Summe einfacher pendelartiger Schwingungen zerlegen, beides allerdings unter der Voraussetzung, daß die Schwingungszahlen der einfachen Schwingungen ein-, zwei-, drei-, vier- usw. mal so groß sind wie die Schwingungszahl der gegebenen Perioden. Der berühmte Mathematiker Fourier hat zur Analyse dieser Kurven die mathematische Grundlage geliefert, nämlich die harmonische Analyse. Für die Ausmessung und Zerlegung der phonautographischen Kurven gibt Hermann im Anschluß an die Hensen schen Darlegungen im Handbuch der Physiologie eine Reihe von Vorschriften, verknüpft mit einer Anzahl von Erleichterungen für die Berechnungen.

Man hat zunächst eine größere Zahl von Ordinaten (im allgemeinen 40) der Klangkurven genau auszumessen, was entweder an photographischen Vergrößerungen oder direkt unter dem Mikroskop, wobei Hermann den mikroskopischen Objekttisch von Fuess benutzte, geschehen kann.

Zu bemerken ist aber, daß mit der harmonischen Analyse nur harmonische Obertöne, nicht unharmonische, berechnet werden können. Zur Feststellung vielleicht vorhandener unharmonischer Obertöne, also etwa der Hermannschen Formanten im engeren Sinne, ist sie unbrauchbar. Die Grundlagen der Fourierschen Berechnung sind bei L. Hermann (Pflügers Arch. f. d. ges. Physiologie 1890, S. 45 ff.) angegeben. Ein einfaches Verfahren für diese Analyse, das keine höhere Mathematik voraussetzt, gibt W. Lohmann an (Vox 1921, Heft 4, S. 91 ff.). Der Madersche Analysator arbeitet zu ungenau. Einen sehr verbesserten Analysator hat D. Cl. Miller neuerdings verwandt. Nähere Angaben fehlen aber.

Trotz der wesentlichen Erleichterungen, die Hermann mit großem Scharfsinn bei der Berechnung der Kurven eingeführt hat, erfordert die Analyse doch immerhin noch eine sehr große Arbeit, und Hermann hat daher, besonders in Rücksicht auf seine noch zu besprechende Theorie, eine andere Methode angegeben, die er als die Schwerpunktsmethode bezeichnet. Da die Fouriersche Analyse natürlich nur harmonische Obertöne ergibt, so würde ein vielleicht vorhandener nicht harmonischer Oberton des Stimmtones aus der Kurve überhaupt nicht mittels der Fourierschen Reihen berechnet werden können. Man kann aber annehmen, daß ein nicht notwendig harmonischer Ton auf die Obertöne des Stimmklanges so einwirkt, daß er die ihm nächstliegenden Obertöne am meisten verstärkt. Nimmt man dies an, so würde sich die Lage des betreffenden Tones annähernd in folgender Weise bestimmen lassen: „Wir denken uns die Reihe der Obertöne als äquidistante Punkte auf einer geraden Linie, verlegen in jeden dieser Punkte eine Masse, deren Größe der Amplitude des betreffenden Partialtones entspricht, und suchen den gemeinsamen Schwerpunkt dieser Massen. Dies geschieht einfach dadurch, daß wir jede Amplitude mit ihrer Ordnungszahl multiplizieren und die Summe dieser Produkte durch die Summe der Amplituden selbst dividieren.“ Hermann gibt als Beispiel für die Note G:

$$\frac{6{,}12 + 7{,}37 + 8{,}42 + 9{,}11 + 10{,}12}{12 + 37 + 42 + 11 + 10} = 7{,}67,$$

d. h. der charakteristische Ton wird am wahrscheinlichsten die 7,67fache Schwingungszahl des Grundtones G (98 Schwingungen) haben: $7{,}67 \times 98 = 752$. Die sich so ergebende Schwingungszahl 752 würde einem Ton entsprechen, der ein wenig über *fis*¹ (746 Schwingungen) liegt.

Eine von Hermann vollkommen durchgeführte Ordinatenmessung für den Vokal *a* will ich hier wiedergeben.

Tabelle 10. Fouriersche Analyse.

Note	Ordnungszahl									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
G						0,12 d^2	0,37 $< f^2$	**0,42** g^2	0,11 a^2	0,12 h^2
A					0,13 cis^2	0,30 e^2	**0,33** $< g^2$	0,10 a^2	0,09 h^2	0,08 cis^3
H	0,05 *H*		0,09 fis^1	0,22 h^1	0,37 dis^2	**0,45** fis^2	0,10 $< a^2$	0,15 h^2		
c	0,11 *c*			0,19 c^2	**0,54** e^2	0,38 g^2	0,16 $< ais^2$	0,09 c^3	0,10 d^3	
d				0,29 d^2	**0,52** fis^2	0,08 a^2	0,18 $< c^3$		0,06 e^3	
e			0,13 h^1	**0,55** e^2	0,28 gis^2	0,24 h^2	0,07 $< d^3$			
fis			0,30 cis^2	**0,61** fis^2	0,07 ais^2	0,11 cis^3	0,11 $< e^3$			
g	0,11 *g*		0,39 d^2	**0,55** g^2	0,21 h^2	0,11 d^3	0,08 $< f^3$			
a			**0,71** e^2	0,18 a^2	0,18 cis^3	0,09 e^3				
h			**0,74** fis^2	0,17 h^2	0,13 dis^3					
c^1		0,41 c^2	**0,54** g^2	0,40 c^3	0,11 e^3					
d^1		**0,71** d^2	0,31 a^2	0,26 d^3						

In Tabelle 10 sind Amplitude und Note des stärksten Partialtones überall mit fetter, die des zweitstärksten mit gewöhnlicher Schrift wiedergegeben, wobei ohne weiteres ersichtlich ist, daß der prävalierende Partialton durchweg zwischen e^2 und g^2 liegt.

Die nun angewendete Schwerpunktsmethode Hermanns ergibt die Zahlen der Tabelle 11. Hermann folgert aus seiner Berechnung: der Vokal *a* ist charakterisiert durch einen Mundton, welcher zwischen e^2 und gis^2 liegt.

Gemäß seiner Theorie kommt es Hermann vorwiegend darauf an, den charakteristischen Ton, zu dessen Ermittlung die Rechnung

ja schließlich führt, in möglichst direkter Weise auch ohne vollständige Analyse aus der Kurve zu entnehmen.

Tabelle 11. Schwerpunktsmethode.

Note	Charakteristischer Ton		
	Ordnungszahl	Schwingungszahl	Note
G 98	7,67	752	$>$ *fis*² (740)
A 110	6,96	766	$>$ *fis*² (740)
H 123,5	5,35	661	$>$ *e*² (659,3)
c 130,8	5,47	715	$>$ *f*² (698,5)
d 146,8	5,34	784	*g*²
e 164,8	4,66	768	$<$ *g*² (784)
fis 185	4,27	790	$>$ *g*² (784)
g 196	3,97	778	$<$ *g*² (784)
a. 220	3,70	814	$<$ *gis*² (830,6)
h 246,9	3,41	842	$>$ *gis*² (830,6)
*c*¹ 261,7	3,14	822	$<$ *gis*² (830,6)
*d*¹ 293,7	2,65	778	$<$ *g*² (784)

Dazu gibt er eine sehr einfache Methode der Proportionalausmessung. Er mißt die Länge zweier sukzessiver Perioden, und zwar so, daß die zu messende Gruppe kleiner Schwingungen, auf die es gerade ankommt, in der Mitte der gemessenen Länge liegt. Darauf wird von den kleinen Schwingungen ebenfalls die Länge einer Doppelperiode gemessen, und zwar in der Höhe der Achse. Die gesuchte Schwingungszahl der kleinen Schwingung wird durch die Formel

$$x = \frac{L}{l} n$$

gegeben, wobei n die Schwingungszahl der Stimmnote, L die Länge einer Doppelperiode und l die Länge einer doppelten kleinen Schwingung ist. Die Proportionalausmessung läßt sich entweder unter dem Mikroskop mit Trieb und Fadenkreuz, oder auch noch schneller mittels eines sehr feinen Anlegemaßstabes ausführen. Das Beispiel, das Hermann für den Vokal *a* gibt, zeigt die deutliche Übereinstimmung der verschiedenen Berechnungsmethoden. Man vergleiche Tabelle 12.

Noch einfacher ist das Auszählungsverfahren: wenn die kleinen Schwingungen mit konstanter Länge, aber wechselnder Höhe durch die ganze Periode hindurchgehen, genügt es, sie einfach auszuzählen. Zeigt die Kurve des Vokales *e*, der auf der Note *H* gesungen wurde, 16 kleine, gleich lange Schwingungen, so ist der entsprechende Ton der 16. Partialton von *H*, d. h. h^3.

Tabelle 12. Methode der Proportionalausmessung.

Note	L mm	l mm	Charakteristischer Ton	
			Schwingungszahl	Note
G 98	18,5	2,4	756	$> fis^2$ (740)
A 110	16,3	2,5	717	$> f^2$ (698,5)
H 123,5	14,9	2,6	708	$> f^2$ (698,5)
c 130,8	13,6	2,55	698	f^2
d 146,8	11,6	2,4	710	$> f^2$ (698.5)
e 164,8	10,9	2,3	781	$< g^2$ (784)
fis 185	9,8	2,5	725	$< fis^2$ (740)
g 196	9,1	2,5	714	$> f^2$ (698,5)
a 220	8,2	2,5	714	$> f^2$ (698,5)
h 246,9	7,3	2,6	693	$< f^2$ (698,5)
c^1 261,7	6,8	?	?	?
d^1 293,7	6,2	?	?	?

Zur schnellen Feststellung der betreffenden Obertöne empfiehlt Hermann die Anlegung einer Obertontabelle für sämtliche Töne. Noch einfacher wäre es, die bekannte Machsche Klaviatur mit verschieblichem Obertonstabe zu benutzen (Müller-Pouillet, Lehrb. d. Phys., 9. Aufl., Bd. 1, S. 839). Nur müßte wegen der hochliegenden Obertöne der verschiebliche Maßstab weiter hinausreichen. Bei den Kurven des Vokals *i* liegen die kleinen Oszillationen so eng aneinander, daß bei einer Ausmessung durch Fouriersche Analyse wenigstens 80 bis 100 Ordinaten erfordert würden. Hier kommt man durch die Anwendung des Auszählungs- wie des Proportionalmessungsverfahrens leicht zu guten Resultaten.

Es mag noch kurz bemerkt sein, daß Pipping für die Benutzung der Schwerpunktsmethode nicht die einfachen Schwingungszahlen, sondern deren Logarithmen benutzt, da er annimmt, daß z. B. ein Resonanzton c^1 auf seine Unteroktave c eine weniger starke Wirkung ausübt als auf den nur um eine Quint von ihm entfernten Ton g^1, obgleich der Unterschied der Schwingungszahlen nach beiden Richtungen hin derselbe ist. Deshalb benutzte er für die Schwerpunktskonstruktion folgende Formel:

$$\frac{a_1 \log s_n + a_2 \log s_n + a_3 \log s_n + \cdots + a_n \log s_n}{a_1 + a_2 + a_3 + \cdots + a_n} = \log S,$$

wobei a_n = Amplitude des n-ten Partialtones; s_n = Schwingungszahl desselben und S = Schwingungszahl des als Schwerpunkt zu bezeichnenden Tones ist.

Die Proportionalmessung hält Pipping für durchaus verfehlt. Samojloff bemerkt aber zu diesem Urteil: „Ich sehe keinen Grund für ein derartiges Urteil. Man kann bloß mit Hilfe der Proportionalmessung aus einer Vokalkurve, wenn nur die Höhe des Grundtones bekannt ist, ohne weiteres den Vokal bestimmen; andererseits kann man, wenn der Vokal bekannt ist, durch die Proportionalmessung die Höhe desselben bis auf einen Ton bestimmen. Wenn eine einfache Methode derartiges leistet, so kann man sie doch gewiß nicht als verfehlt bezeichnen; im Gegenteil, man muß ihr eine prinzipielle Bedeutung zuschreiben; und wenn man mit Hilfe dieser Methode unharmonische Ordnungszahlen bekommt, mit denen man dann rechnerisch operiert und zu brauchbaren Resultaten gelangt, so spricht es eher für die Existenz unharmonischer charakteristischer Töne als für die Unbrauchbarkeit der Proportionalmessung."

e) Ergebnisse der Klanganalyse.

Hermann gibt als allgemeinsten Charakter der Vokalkurven an, daß dieselben einen charakteristischen Oberton periodisch oder in periodischer Verstärkung enthalten, und daß die Periode diejenige des Stimmtones ist. Kürzer drückt er es so aus: Der Charakter der Vokale besteht in einem im Tempo des Kehltones in seiner Amplitude oszillierenden Mundton. Das bei dem Vokal *a* von ihm erhaltene Resultat war, wie aus den Tabellen hervorgeht, ein Mundton, der zwischen e^2 und gis^2 liegt. Für den Vokal *e* bestimmte er die Höhe des Mundtones auf h^3 bis c^4, für den Vokal *i* auf d^4 bis g^4, für den Vokal *o* auf d^2 bis e^2 und für *u* auf c^2 bis d^2. Daß die Amplitudenoszillation am stärksten bei *a* sich zeigt, am geringsten bei *i* und *u*, erklärt sich übrigens auch aus den Reproduktionsverhältnissen des Edisonschen Phonographen, bei dem gerade *i* und *u* am schlechtesten wiedergegeben werden.

Auffallend war Hermann wie allen folgenden Untersuchern, daß der Grundton der Vokale, den man doch mit dem Ohre weitaus am stärksten wahrnimmt, in den Kurven so schlecht ausgeprägt ist. Die Ursache für diese Erscheinung hat Pipping (siehe unten) zu geben versucht.

Pipping kommt in seiner ersten Arbeit zu folgenden Resultaten: 1. Gesungene Vokalklänge enthalten lauter harmonische Teiltöne. 2. Die Intensitäten der einzelnen Teiltöne hängen in

keinem nennenswerten Grade von ihren bezüglichen Ordnungszahlen ab. 3. Die verschiedenen Vokale unterscheiden sich untereinander durch Verstärkungsgebiete in verschiedener Anzahl, Breite und Lage in der Tonskala. Je näher der Maximalpunkt eines solchen Gebietes, desto stärker sind die Teiltöne, je weiter vom Maximalpunkt entfernt, desto schwächer sind sie. Die Intensität eines solchen Teiltones, der zwei Verstärkungsgebieten angehört, erreicht selten 1 Proz. der ganzen Klangmasse, kann jedoch unter Umständen bis zu 5 Proz. heraufsteigen. 4. In verschiedenen Fällen hat Pipping bei verschiedenen Individuen desselben Dialekts so gut wie identische Aussprache eines Vokales konstatieren können.

In betreff der merkwürdigen Erscheinung, daß der Grundton am schwächsten, ja zum Teil gar nicht in den Klangkurven sich geltend macht, glaubt Pipping, folgendes aussprechen zu dürfen: Ein Klang von der Schwingungszahl n wird entstehen, sowie eine hinreichende Anzahl von Teiltönen vorhanden ist, deren Schwingungszahlen gerade Vielfache von n sind. Kein Teilton genügt an und für sich, um eine sichere Höhenempfindung hervorzurufen, und keiner, auch nicht der Grundton, ist zu diesem Zwecke unentbehrlich. Als Beweis dafür führt Pipping folgendes an: 1. Die Obertöne tragen zur sicheren Wahrnehmung der Klanghöhe bei. Als Beispiel weist er auf die Mixturregister der Orgel hin. 2. Die Höhe eines einfachen Tones wird von unserem Ohr nur sehr unsicher geschätzt, worauf schon Helmholtz in seinen „Tonempfindungen“ hinweist: Henrici gab die Obertöne einer Stimmgabel um eine Oktave zu tief an, Tartini die Differenztöne um eine Oktave zu hoch. 3. Der Grundton ist für die Hervorbringung einer sicheren Klanghöhenwahrnehmung entbehrlich. Dazu stellt Pipping einen Versuch an, der eine interessante Erweiterung des bekannten Helmholtzschen Klavierversuchs darstellt (siehe oben). Er wiederholt den Versuch, befreit aber nur die Saiten vom zweiten Teilton an von ihren Dämpfern, läßt dagegen alle die Saiten, welche durch den Grundton des hineintönenden Klanges in Mitschwingungen versetzt werden können, gedämpft. Es müßte also in dem Klange, welcher aus dem Klavier wiedertönt, der Grundton fehlen; trotzdem bleibt die Höhe des Klanges bei dem Versuche intakt.

Hermann erklärt das geringe Vorhandensein bzw. Fehlen des Grundtones in der Kurvenanalyse so, daß er annimmt, daß jede beliebige periodische Bewegung von unserem Ohr als ein

Ton aufgefaßt werde. Natürlich ist er sich dessen sehr wohl bewußt, daß diese Auffassung mit der Helmholtzschen Hypothese, daß die Tonempfindung auf den Mitschwingungen von Resonatoren im Ohre und der dadurch hervorgerufenen Erregung der zugehörigen Einzelfaser der Hörnerven beruht, unvereinbar erscheint. Die folgende Tabelle stellt die von Pipping, Boeke, Hermann und Samojloff gewonnenen Resultate übersichtlich zusammen. Die

Vokal	Pipping	Boeke	Hermann		Samojloff
U	c, a^2	$< d^2$	c^1—f^1, d^2—e^2	(α-Vers. c^2—e^2)	c^1—g^1, c^2—e^2
O	—	$< c^2$	c^2—dis^2	(α-Vers. cis^2—e^2)	h^1—des^2
Ao	c^2	—	e^2—f^2	—	—
A	cis^3—d^3	c^3—cis^3	e^2—gis^2	(α-Vers. e^2—gis^2)	g^2—a^2
Ae	e^3—f^3	—	c^2—e^2, fis^3—ais^3	—	—
E	e^1, d^4	$< fis^4$	d^2—e^2, ais^3—h^3	(α-Vers. h^3—c^4)	(h^1—d^2) h^3—des^4
Oe	a^1, c^3	—	f^3—g^3	—	—
Ue	f^1, c^4	—	a^3—h^2	—	—
I	d^1—f^1, c^4—d^4	$> d^4$	e^4—f^4	(α-Vers. d^4—g^4)	(c^1-g^1, c^2-e^2), d^4—e^4

Abb. 67 ermöglicht eine schnelle Vergleichung dieser und früherer durch Flüstern gewonnener Resultate. Wie man daraus ersieht, ist eine Übereinstimmung durchaus nicht überall vorhanden. Es darf aber nicht außer acht gelassen werden, daß dialektische Verschiedenheiten einen außerordentlichen Einfluß ausüben können. Natürlich wäre es eine nicht unwesentliche Aufgabe, wenn ein und derselbe Forscher den gleichen Vokal auf der gleichen Tonhöhe einmal bei Personen mit recht verschiedenem Dialekt untersuchte; mir scheint aber, daß ein fein gebildetes Ohr auch ohne mathematische Analyse die individuell sehr differierenden charakteristischen Mundtöne zu unterscheiden imstande ist (Samojloff, S. 21).

Boeke erweitert die Hermannsche Definition eines Vokals folgendermaßen: Ein Vokal wird hervorgebracht von dem Anschwellen und allmählich wieder Verschwinden eines ziemlich konstanten Mundtones innerhalb der Periode des Stimmtones mittels der periodischen Anblasung der Stimme. Im allgemeinen steigt beim Vokal *a* dieser Mundton etwas mit dem Aufsteigen des Stimmtones.

Abb. 67.

h⁴ = 3906 ····d. Schw. (v. d.)
a⁴ = 3480 ···· „ ···· „
g⁴ = 3100 ···· „ ···· „
f⁴ = 2762 ···· „ ···· „
e⁴ = 2607 ···· „ ···· „
d⁴ = 2352 ···· „ ···· „
c⁴ = 2069,2 ···· „ ···· „
h³ = 1953 ···· „ ···· „
a³ = 1740 ···· „ ···· „
g³ = 1550,2 ···· „ ···· „
f³ = 1381 ···· „ ···· „
e³ = 1303,6 ···· „ ···· „
d³ = 1176 ···· „ ···· „
c³ = 1034,6 ···· „ ···· „
h² = 976,5 ···· „ ···· „
a² = 870 ···· „ ···· „
g² = 775,1 ···· „ ···· „
f² = 690,5 ···· „ ···· „
e² = 651,8 ···· „ ···· „
d² = 588 ···· „ ···· „
c² = 517,3 ···· „ ···· „
h¹ = 488,3 ···· „ ···· „
a¹ = 435 ···· „ ···· „
g¹ = 387,5 ···· „ ···· „
f¹ = 345,3 ···· „ ···· „
e = 325,9 ···· „ ···· „
d = 294 ···· „ ···· „
c = 258,65 ···· „ ···· „
h = 244,1 ···· „ ···· „
a = 217,5 ···· „ ···· „
g = 193,8 ···· „ ···· „
f = 172,65 ···· „ ···· „
e = 162,9 ···· „ ···· „

Donders | Helmholtz | König | Gutzmann | Hermann | Pipping | Boeke | Samojloff

Die schwarzen Noten geben die charakteristischen Mundtöne für den Vokal *u*, die längs und quer gestrichelten die für den Vokal *o*, die senkrecht liniierten die für den Vokal *a*, die horizontal liniierten die für den Vokal *e* und die weißen die für den Vokal *i* nach Donders, Helmholtz, König, Gutzmann durch Flüstern, nach Hermann, Pipping, Boeke, Samojloff durch Analyse bestimmt. Der Übersichtlichkeit und Vergleichbarkeit wegen ist für die Figur nur immer ein Ton der durch Analyse bestimmten Verstärkungsgebiete angegeben.

	Vokale									
	$\breve{a}$	$\bar{a}$	$\overline{ae}$	$\breve{o}$	$\breve{e}$	$\breve{\ddot{u}}$	$\bar{\ddot{u}}$	$\breve{\ddot{o}}$	$\bar{i}$	$\breve{i}$
Boeke	fis^2+	gis^2+	—	—	dis^2+	—	e'	—	e^2	—
	dis^3-	dis^3+	—	—	cis^4	—	g^3	—	gis^3	—
	—	—	—	—	—	—	cis^4	—	dis^4-	—
Pipping	f^2-fis^2	dis^2-g^2	d^2-e^2	ais^1-c^2	ais^1+	gis^3-a^3	d'	$b'-c^2$	gis	—
	d^3-dis^3	dis^3	fis^3+-g^3	a^2-c^3	a^3-b^3	—	a^3-ais^3-	g^3-gis^3	g^3-gis^3	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	d'	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	ais^3-c^4	—
Hermann	c^2-es^2	f^2-a^2	Beg. d. 2. Okt.	$b'-cis^2$	Beg. d. 2. Okt.	fis^3-gis^3	—	—	—	—
	—	—	Mitte d. 3. Okt.	—	Mitte d. 3. Okt.	—	Ende d. 3. Okt.	e^3-fis^3	—	ais^3
	—	—	—	—	—	—	—	—	Mitte d. 4. Okt.	—
Verschuur	$[\breve{a}^0]$	$[\bar{a}^0]$	—	—	$[\breve{e}^0]$	—	—	$[\breve{u}]$	—	—
	gis^2+	f^2-fis^2+	dis^2-fis^2	fis^2+-a^2+	d^2--dis^2+ **)	gis^3-b^3+	—	$a'-cis^2$	g^2-a^2	—
	dis^3-f^3	cis^3-dis^3+	ais^3+-b^3+ *)	gis^3-a^3-	e^3+-g^3-	—	ais^3-c^4	fis^3-gis^3-	—	f^3+-gis^3+
	—	—	—	—	—	—	—	$[\grave{u}]$	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	cis^2-e^2	cis^4+-dis^4-	cis^4+-dis^4+
	—	—	—	—	—	—	—	e^3+-fis^3	—	—

*) Zu lesen: der charakteristische Ton liegt von etwas oberhalb ais^3 bis etwas oberhalb b^3.

**) Zu lesen: der charakteristische Ton liegt von etwas unterhalb d^2 bis etwas oberhalb dis^2.

Garten kommt auf Grund seiner Versuche mit dem von ihm erfundenen automatischen, variablen, harmonischen Kugelanalysator zu dem Ergebnis, daß man mit Helmholtz einen an harmonischen Obertönen reichen Kehlkopfton annehmen dürfe, daß aber alle jene Teiltöne, die höher liegen als die Eigentöne des Hohlraumes über der Stimmritze, stark verkleinert, also abgeschwächt würden. Daneben entstünden aber in der Mundrachenhöhle noch unharmonische Eigentöne, die Hermannschen Formanten. Diese bildeten stets, und zwar bei geflüsterten Vokalen allein (ohne den Grundton) die charakteristische Komponente des Vokalklanges. Nach Broemser kann man sich die Entstehung eines Vokals so denken, „daß eine verhältnismäßig einfache Schwingung (Stimmbandschwingung) an einem schwingungsfähigen System (Nasen-Rachenraum und Mundhöhle) eine Schwingung erzwingt". Trendelenburg kommt mit seinem Kondensatormikrophon zu einer Bestätigung der Helmholtzschen Theorie mit nur harmonischen Obertönen.

In neuester Zeit hat Stumpf diese Probleme in einer eingehenden Arbeit mit der Interferenzmethode zu klären versucht. Er hat dabei die Vokale auf den verschiedensten Grundtönen analysiert, aber niemals unharmonische Teiltöne gehört. Die auffallendste Erscheinung in seinen Tabellen, so sagt er selbst, ist das langsame Hinaufrücken der Formanten mit der Höhe des Grundtones. Freilich erfolgt ihr Hinaufrücken weit langsamer als das der Grundtöne, da diese Verschiebungen sich bei seinen Versuchen ganz regelmäßig herausgestellt haben, hält er sie für einen sehr starken Beweis, daß nur harmonische Teiltöne vorhanden sind.

Sehr bemerkenswert ist, als Erklärung für die sich zum Teil widersprechenden Meinungen der Autoren, daß die charakteristischen Töne bei einem und demselben Vokal der gleichen Silbe schwanken, je nachdem man diese Periode aus dem Anfang, der Mitte oder dem Ende der gesprochenen Silbe untersucht. So fand Verschuur für den Vokal *O* die beiden charakteristischen Töne:

im ersten	Teil	der	Silbe	bei	$gis^1—a^1$	bzw.	$gis^2—a^2$
„ mittleren	„	„	„	„	c^2	„	$b^2—c^3$
„ letzten	„	„	„	„	$c^2—cis^2$	„	cis^3

Es ist auffallend, daß hier der zweite Ton immer fast genau eine Oktave höher liegt als der erste Ton, was an die Anschauung von Lloyd erinnert, nach dem das Hauptcharakteristikum der Vokale

in dem Intervall zwischen den Resonanztönen liegt. Den tiefsten Resonanzton betrachtet Pipping als die Resonanz der Brust.

Eine Zusammenstellung der zwei bzw. drei charakteristischen Töne der Vokale nach seinen eigenen Befunden, nach denen Boekes, die dieser ihm schriftlich mitteilte, und nach den bekannten Befunden Pippings und Hermanns gibt Verschuur. Sie sind auf S. 125 in übersichtlicher Form dargestellt.

f) Theorie der Vokale.

Zwei Theorien standen sich lange scheinbar unversöhnlich und unvereinbar gegenüber, die wir kurz als Obertontheorie und Formantentheorie bezeichnen können. Die Obertontheorie wurde vorwiegend von Hensen und Pipping, die Formantentheorie von Hermann, Boeke und Samojloff vertreten. Es ist aber bemerkenswert, daß beide Theorien auch schon in der ersten Zeit, als man überhaupt begann, sich mit der Vokaltheorie zu beschäftigen, Vertreter fanden. So ist Wheatstone zweifellos ein Vorläufer von Helmholtz, indem er ebenfalls Stimmgabeln zur Festsetzung des Mundtones benutzte, und Willis zweifellos ein Vorläufer von Hermann.

1. Obertontheorie. Der erste, der die Obertöne als Charakteristikum der Vokale genauer auffaßte und untersuchte, war Grassmann, der sich dazu, wie oben bereits bemerkt, seines ausgezeichneten Gehörs bediente. Er schied die Vokale danach in drei Gruppen oder Reihen; bei der *u-ü-i*-Reihe trat unter den verschiedenen Obertönen stets einer, und zwar von bestimmter Höhe heraus, d. h. ein tieferer beim *u* und ein höherer bei dem *i*. Demgegenüber zeigte sich beim Vokal *a* nicht ein Oberton von bestimmter Tonhöhe, sondern eine ganze Reihe von Obertönen bis zur dritten Oktave des Grundtones. Endlich zeigt die Reihe der Zwischenvokale *o-ö-e* beide Momente, sowohl die Eigenschaften der *u-ü-i*-Reihe wie diejenigen des *a*, vereinigt. Grassmann hat also bereits in seiner Theorie das „absolute Moment“ wie das „relative Moment“ des Vokaltones, bezieht aber beide auf harmonische Obertöne des Grundtons. Zu einer ähnlichen Theorie ist auch Auerbach bei seinen verschiedenen Arbeiten gelangt, während Helmholtz zunächst die Vokale der menschlichen Stimme als Klänge membranöser Zungen auffaßte, deren Ansatzrohr verschiedene Form erhalten kann, so daß dadurch bald dieser, bald jener Teilton des

Klanges verstärkt wird. Diese Verstärkung der Obertöne hängt nach Helmholtz nicht von der Ordnungszahl derselben, sondern überwiegend von ihrer absoluten Tonhöhe ab. Singt man also den Vokal auf die Note *Es*, so ist der verstärkte Ton b^2 der 12. des Klanges, singt man den gleichen Vokal auf die Note b^1, so ist es der zweite Ton des Klanges, der verstärkt wird; Helmholtz vertritt demnach das „absolute Moment“ des verstärkten Obertones.

Pipping, ein eifriger Anhänger der Helmholtzschen Vokaltheorie, kennzeichnet seine Stellung zu Helmholtz in folgenden Punkten: 1. Daß unharmonische Teiltöne bei gesungenen Vokalen vorkämen, hält er für unbewiesen. 2. Mit Rücksicht auf das relative Moment bei der Vokalbildung geht er noch weiter als Helmholtz, indem er dessen bekannten Ausspruch: „Die Vokalklänge unterscheiden sich von den Klängen der meisten musikalischen Instrumente also wesentlich dadurch, daß die Stärke ihrer Obertöne nicht nur von der Ordnungszahl derselben, sondern überwiegend von deren absoluter Tonhöhe abhängt“, so umändert, daß er für „Obertöne“ vorzieht, „Teiltöne“ zu sagen, da ja nach den obigen Auseinandersetzungen auch der Grundton kraft seiner Ordnungszahl nicht eine bevorzugte Stellung einnimmt. 3. Pipping behauptet mit Helmholtz, daß jeder Vokal sich durch ein oder mehrere Verstärkungsgebiete konstanter Tonhöhe auszeichnet, und daß die Intensität seines Teiltones ceteris paribus desto größer ist, je genauer er mit dem Maximalpunkt eines solchen Verstärkungsgebiets zusammentrifft. 4. Die Breite der Verstärkungsgebiete nimmt Pipping nicht so groß an wie Helmholtz.

2. Formantentheorie. Die Theorie von Willis geht aus seinem Versuch am gezähnten Rade hervor. An dieses rasch rotierende Rad hielt er eine Stahlfeder, so daß man infolge der regulären Stöße des Zahnes einen gewissen Ton hörte. Die Feder konnte durch eine Klemmvorrichtung verlängert oder verkürzt werden. Bei langer Feder erhielt er einen *u*-ähnlichen, bei ganz kurzer Feder einen *i*-ähnlichen Klang. Entsprechend der allmählichen Verkürzung folgen sich die Vokale in der Reihe *u o a e i*. Grützner betont, daß nach seinen Erfahrungen dieser Willissche Versuch vortrefflich gelingt, wenn man nicht Stahlfedern, sondern sehr schnell ausschwingende Plättchen von hartem Holz oder Elfenbein verwendet. Nach der Willisschen Theorie ist demnach ein Vokal eine verschieden rasche Wiederholung eines

kurzen musikalischen Tones von derselben Höhe. Willis nannte die durch die Zähne des Rades erzeugten Schwingungen die „primären", die kurzdauernden Schwingungen der Feder selbst die „sekundären Pulsationen".

Es mag hier noch kurz erwähnt werden, daß bereits vor Willis der berühmte Physiker Robert Hooke ganz ähnliche Versuche machte. Denn in Birchs History of the Royal Society 1757 heißt es auf S. 96, daß Herr Hooke am 27. Juli 1681 einen Versuch zeigte, musikalische und andere Töne mit Hilfe der Zähne von Messingrädern zu erzeugen, und daß diese Zähne gleich breit waren für musikalische, ungleich breit für die Töne der menschlichen Stimme. Auch in der Lebensgeschichte Hookes von Waller heißt es: „Im Juli desselben Jahres zeigte er eine Methode, musikalische und andere Töne durch das Anschlagen der Zähne von verschiedenen Messingrädern zu erzeugen. Die Zähne derselben standen in einem einfachen Zahlenverhältnis; die Räder drehten sich sehr schnell, und man beobachtete, daß gleiche oder in einfachem Zahlenverhältnis zueinander stehende Schläge der Zähne (2 : 1 oder 4 : 3 usw.) die musikalischen Töne erzeugten, ungleiche Anschläge der Zähne mehr dem Klange der Stimme beim Sprechen nahe kamen." Ich entnehme diesen geschichtlich nicht uninteressanten Hinweis aus Tyndall, Der Schall, 3. Aufl., 1897, S. 61/62.

Hermann läßt sich über seine Theorie folgendermaßen aus: Das Wesentliche des Vokales ist nach seinen Versuchen ein intermittierendes oder oszillierendes Anblasen durch die Stimme. Dies genüge zur Charakteristik des Vokales. Wir haben es nach ihm vermöge der Schwingungen der Stimmlippen mit einem intermittierenden Ausatmungsstrom zu tun, welcher eben anblasend wirke. „Die Theorie der Resonatoren ist noch nicht genügend entwickelt, um übersehen zu können, unter welchen Umständen intermittierendes oder oszillierendes Anblasen ein kontinuierliches und unter welchen es ein oszillierendes Tönen hervorbringt, und namentlich sind bekanntlich die Eigenschaften starrer und regelmäßig geformter Resonatoren nicht ohne weiteres maßgebend für die komplizierte Form und die weichen, dicken Wände des Mundresonators, der vielleicht viel stärker gedämpft ist." — „Tatsache ist, daß der Mundton auf *A* und *O* nur immer auf ganz kurze Zeit in jeder Periode der Stimme erklingt, vermutlich auf das Maximum des exspiratorischen Stromes fallend. Bei tiefen Tönen nimmt dieses Erklingen mit seinen 3 bis 6 Schwingungen zuweilen nur einen ganz kleinen Teil der ganzen Periode in Anspruch; zuweilen füllt es den größten Teil. Bei höheren Stimmnoten reduziert sich die Klingzeit mit abnehmender Periodendauer immer mehr, bis schließlich kaum zwei Schwingungen übrigbleiben.

Man sollte meinen, daß, sobald nur eine einzige Schwingung in der Periode Platz hat, der Vokalcharakter des *A* und *O* nicht mehr erkennbar sein wird.“ Es kommt demnach bei dieser Auffassung gar nicht darauf an, ob die Periode des Stimmtones einen genauen Bruchteil der großen Periode ausmacht oder nicht, mit anderen Worten, ob der Kehlton zum Mundton harmonisch ist. Diesen Mundhöhlenton des durch die Luftstöße der Stimme angeblasenen Resonanzraumes nennt Hermann den „Formanten des Vokales.“

Stellt man die Obertontheorie von Helmholtz und die Formantentheorie von Hermann einander gegenüber (vgl. die Gegenüberstellung bei Calzia, Experimentelle Phonetik, S. 62/63), so könnte man an einer Lösung der Frage verzweifeln. Hie harmonische, hie unharmonische Obertöne. Nun scheint neuerdings Stumpf doch eine Lösung gefunden zu haben, die wirklich voll befriedigen kann. Nach Stumpf hat der reine, klangschöne Vokal nur harmonische Obertöne. Ist dagegen der Vokal nicht klangschön, sondern irgendwie verunreinigt, so sind dafür unharmonische Obertöne, die im Ansatzrohr dem Klange beigemischt werden, verantwortlich. Besonders deutlich werden diese Verhältnisse, wenn man Stumpfs Synthese betrachtet. Seine synthetischen Vokale sind zum Teil sogar klangschöner als die echten! Mischt er aber seinem synthetischen Klange einen unharmonischen Oberton bei, so blieb zwar der Vokal, aber er wurde weniger schön. Die Dinge liegen also ähnlich wie bei den künstlichen Edelsteinen. Ein künstlicher synthetischer Rubin wird mit Sicherheit daran erkannt, daß er fehlerfrei befunden wird, während der echte Stein stets Luftbläschen oder sonst irgendwelche Verunreinigungen aufweist. Trotzdem wird niemand von einem synthetischen Rubin behaupten wollen, daß er falsch sei. Und wenn Garten sagt, die in der Mundrachenhöhle entstehenden unharmonischen Töne bilden stets die charakteristische Komponente des Vokalklanges, den wir gewohnt sind, „in der lauten Sprache mit dem klingenden Kleid der Stimmbandtöne zu umgeben“, so trifft er damit insofern das Richtige, als man wirklich nicht immer nur harmonische Obertöne gebraucht. Fehlen aber die unharmonischen, so wird man von dem Wohlklang ohne „Echtheitsfehler“ nur angenehm berührt sein können.

Beachtenswert ist noch, daß der erste Vertreter der Obertontheorie, Grassmann, ebenso wie ihr letzter Vertreter, Stumpf, vielfach mit dem unbewaffneten Ohr gearbeitet haben. Stumpf

widmet sogar der Psychologie des Hörens ein eigenes, sehr lesenswertes Kapitel.

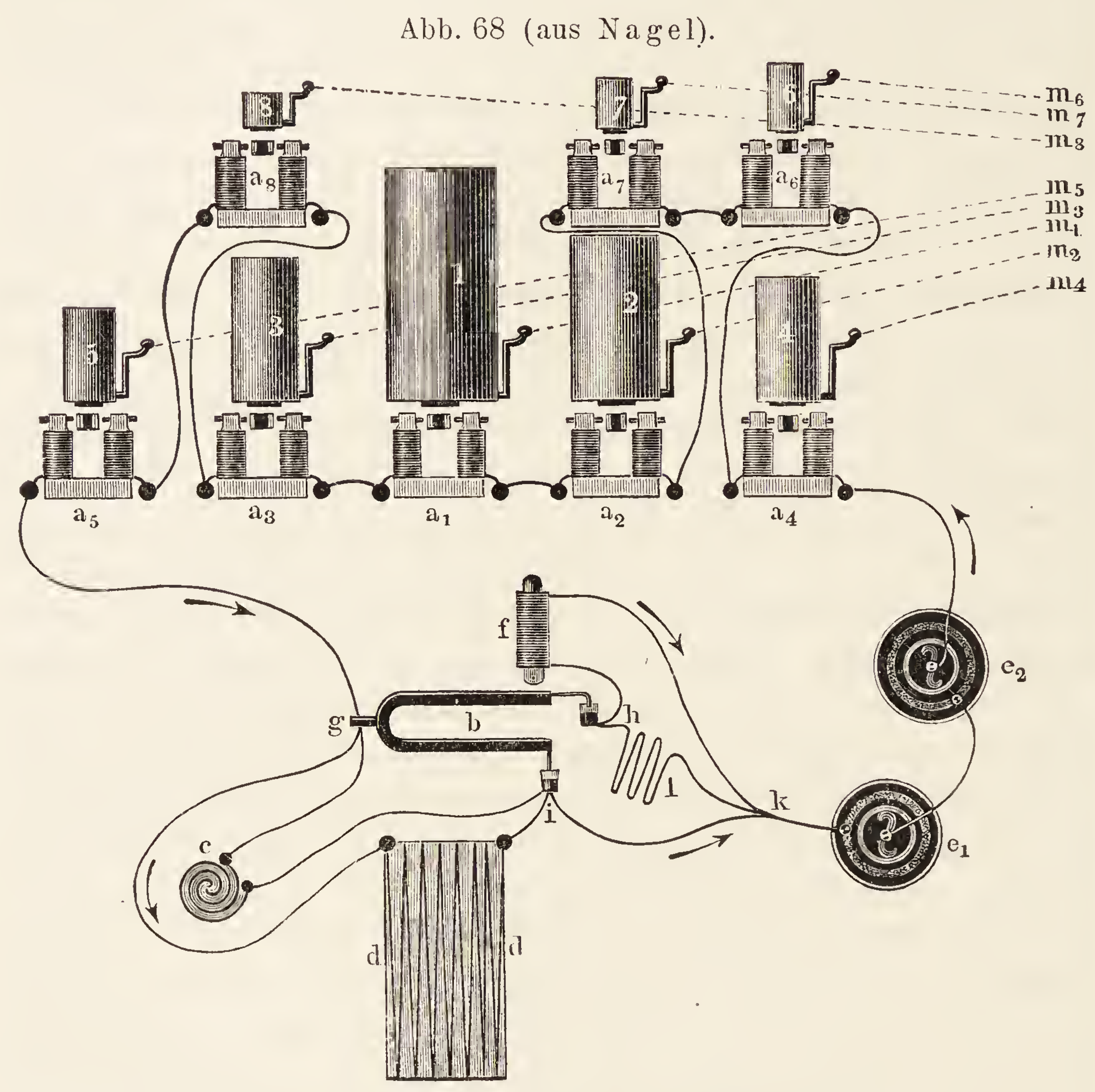
Die Schlußfolgerungen Gartens und Broemsers sind oben (S. 126) erwähnt. Diesem gegenüber betont Stumpf nachdrücklich, daß die Helmholtzsche Absoluttheorie, die feste Tonhöhen für die charakteristischen Teiltöne der Vokale annahm, im wesentlichen recht behalten hat. Jedoch ist auch an der Relativtheorie, welche die Ordnungszahl der Teiltöne für wesentlich hielt, richtig, daß jedem Vokal gewisse (in allen Tonlagen wiederkehrende) Struktureigentümlichkeiten zukommen. Nichtgenäselte Vokale bestehen aus harmonischen Teiltönen, wovon die untersten und die der Formanten die wichtigsten sind. Die Lage des Maximums (Zentrums) verschiebt sich mit dem ganzen Formanten innerhalb bestimmter enger Grenzen (Formantgegend) bei aufsteigendem Grundton. Der Formant im weiteren Sinne ist unverrückbar; innerhalb seiner Zone verschiebt sich der Formant im engeren Sinne. Die Nebenformanten (Oberformant des *U*, Unterformanten der hellen Vokale) sind vom Hauptformanten durch „leere Tonstrecken" getrennt. Der Grundton der Vokale ist oft schwach oder er fehlt, wird aber als Differenzton der Obertöne subjektiv verstärkt. Den Hauptteil der physikalischen Klangenergie oder deren Höhepunkt enthält der Formant. Änderungen der Stärke einzelner Teiltöne innerhalb des Formanten verändert die Vokalfärbung. Jeder Vokal durchläuft im Ab- und Aufbau (durch Interferenz der Teiltöne) Rückbildungs- und Entwicklungsstufen, die selbst wieder Vokale sind. Ab c^2 verlieren die Vokale mehr und mehr ihre Charakteristik und sind von c^3 an (hohes Sopran-*c*) nicht mehr unterscheidbar. Auf sehr tiefen Grundtönen werden sie undeutlich. Gesungene und gesprochene Vokale sind im Grunde nicht verschieden konstruiert. Die Köhlersche Annahme, wonach sich über die einfachen Töne zwischen g^1 und g^4 ein Spektrum von Vokalfarben legt, findet Stumpf berechtigt im Sinne seiner Tonfarbenlehre. Neben Höhe und Stärke hätte jeder einfache Ton eine immanente (psychologische) Farbeneigenschaft, woraus aber allein die empirischen Vokalcharaktere nicht verständlich sind.

g) Synthese der Vokale.

Auf Grund der durch Experimente gewonnenen theoretischen Vorstellungen eine Synthese der Vokale auszuführen, unternahm zuerst, wenn wir von den Versuchen von Hooke und Wallis ab-

sehen, Helmholtz. Er benutzte dazu eine Anzahl elektrisch angetriebener Stimmgabeln, und es wird hier an dieser Stelle genügen, wenn auf seine Beschreibungen in den „Tonempfindungen" S. 196 ff. verwiesen und auch bezüglich der Art der Anstellung des Versuches auf Abb. 68 hingewiesen wird. Die Vokale *u*, *o*, *ö* und *a* konnte Helmholtz gut nachbilden, auch *ä* und *e* gelang noch; *i* konnte er nicht darstellen.

Abb. 68 (aus Nagel).



Helmholtzscher Versuch der Vokalsynthese.

Bemerkenswert sind die Hermannschen Versuche einer synthetischen Vokalbildung. Er sucht in verschiedenster Weise den Vorgang nachzuahmen, welcher nach seiner Ansicht und nach seinen Resultaten der Bildung von *a* und *o* zugrunde liegen mußte. Zunächst versuchte er, einen konstanten Ton von der Höhe f^2 oder fis^2 in rascher Unterbrechung dem Ohre zuzuleiten, und zwar auf zwei Arten. Bei der einen Art wurde eine Röhrenleitung hergestellt, welche an einem Ende einen Trichter hatte, vor dem eine Lippenpfeife f^2 angeblasen wurde. Das Rohr wurde in den Gehörgang gesteckt. An einer Stelle war diese Leitung unterbrochen, und hier eine

Pappscheibe mit 18 Löchern von 16,5 mm Durchmesser eingeschaltet, so daß die Röhre durch die rotierende Seheibe abwechselnd geöffnet und geschlossen wurde. „Hierbei trat in der Tat eine freilich sehr unreine, durch das Geräusch der rotierenden Scheibe stark gestörte A-artige Schallempfindung auf, und zwar in dem tiefen Ton, welcher der Anzahl der Löeherdurchgänge entsprach, während der hohe Ton der Pfeife beim raschen Rotieren gar nicht zur direkten Wahrnehmung gelangte.“ Andererseits verband er zwei in entfernten Zimmern befindliehe Telephone durch eine Leitung. Vor dem einen Telephon wurde die f^2 bzw. fis^2-Pfeife geblasen und am anderen gehört. In dem Zimmer, in dem sich das erste Telephon befand, war nun in die Leitung ein Unterbreehungsdraht eingeschaltet, während dessen Rotation man den Pfeifton nicht hörte, sondern ein Geräusch, dessen Höhe der Unterbrechungszahl entspraeh; ein Vokalcharakter konnte hier aber nicht festgestellt werden.

Stumpf hält diese und die folgenden, an sich sehr schönen Hermannschen Versuche aber nicht für einwandfrei. Es lägen hochzusammengesetzte Tonkomplexe vor, bei denen zuerst einmal untersucht werden müßte, welche von allen diesen Tönen an dem Vokaleindruck beteiligt seien. Der eigentliche akustische Tatbestand aber bleibe so lange unklar, als nicht die nebenher erzeugten Teiltöne festgestellt seien. Nicht einmal die so wichtigen Unterformanten könnten aus Hermanns Synthesen erschlossen werden.

Interessant ist der Versuch am Savartschen Zahnrad, der dem oben zitierten von Hooke durchaus ähnelt. Die vier Savartschen Räder hatten 80, 60, 50, 40 Zähne. An dem Rade mit 80 Zähnen wurden nun von je acht Lücken je zwei dureh Klebwachs verschlossen, so daß der Rotationston bei jeder Umdrehung zehnmal unterbrochen wurde. Hierbei entstand, wenn man den Rand mit einer spitzen Tüte aus dünnem Papier anstrich, ein sehr rauhes, entschieden an A erinnerndes Geräusch, sobald die Umdrehungszahl etwa 10 pro Sekunde betrug. Der Ton dieses a war tief; er entsprach ungefähr dem G (100 Schwingungen), während der Zahnton bei dieser Geschwindigkeit ungefähr 800 Schwingungen betrug, d. h. g^2 bis gis^2 war. Hermann zieht daraus den Schluß, daß es offenbar sei, daß das Ohr periodisehe Unterbrechungen eines Tones, wenn dieselben eine genügende Frequenz haben, als besonderen und zwar in der Stärke überwiegenden Ton wahrnimmt. Mit Lochsirenen konnte Hermann vokalartige Klänge nicht hervorbringen. Sehr interessant ist aber sein Versuch, periodische Schwankungen hoher Töne, wie sie ja nach seiner Ansicht dem Vokal entsprechen, durch passende Interferenz zweier Töne hervorzubringen. Nach dem oben Gesagten mußte es möglich sein, ein A auf die Note c annähernd hervorzubringen, durch Angeben zweier Töne, deren Schwebungszahl, d. h. Schwingungsdifferenz, gleich der Schwingungszahl von c und deren arithmetischer Mittelton der charakteristische Ton von A, d. h. etwa fis^2, ist. Ist also n die Schwingungszahl der Note, auf die das A angegeben werden soll, und p diejenige des charakteristischen Tones von A, so bestimmen sich die beiden gesuehten Töne durch die Gleichungen $y - x = n$ und $\frac{1}{2}(y + x) = p$, woraus folgt: $x = p - \frac{n}{2}$ und $y = p + \frac{n}{2}$. Hieraus

berechnet sich, wenn wir für $Ap = 740$ annehmen (fis^2 als Mitte des Bereichs e^2 bis gis^2):

A auf die Note c, $x = 674{,}6$ ($e^2 — f^2$) und $y = 805{,}4$ ($g^2 — gis^2$),
A auf die Note g, $x = 642$ ($dis^2 — e^2$) und $y = 838$ ($> gis^2$),
A auf die Note c^1, $x = 609{,}2$ ($d^2 — dis^2$) und $y = 870{,}8$ ($< a^2$),
A auf die Note g^1, $x = 544$ ($c^2 — cis^2$) und $y = 936$ ($> ais^2$),
A auf die Note c^2, $x = 478{,}4$ ($cis^1 — h^1$) und $y = 1001{,}6$ ($h^2 — c^3$).

Je höher also der Vokal angegeben werden soll, um so weiter müssen die beiden Töne auseinandergehen.

Diesen Hermannschen Versuch hat Stumpf nachgemacht. Er konnte aber, ebenso wie seine geschulten Beobachter, nur die beiden Primärtöne und den brummenden ersten Differenzton hören, „aber keine Spur von Vokalität". Was aber für ungeschulte, nur an einheitliches Hören gewöhnte Beobachter möglicherweise an Vokalähnlichkeit herauszuhören sei, könne leicht aus Helmholtz' Lehre hergeleitet werden.

Ähnliche Versuche machte Jaensch mit einer Selensirene. Er schaltete zwischen eine Lichtquelle einerseits und eine Selenzelle andererseits eine rotierende Kreisscheibe ein, aus deren Peripherie Sinuskurven ausgeschnitten wurden. Die Selenzelle stand mit einem Telephon im gleichen Stromkreis. Je nach den Kurvenformen auf der rotierenden Kreisscheibe ergeben sich Töne im Telephon. Die Resultate sind aber beeinträchtigt 1. durch die Trägheit der Selenzelle, 2. durch das Telephon, das stets Obertöne hinzufügt. Stumpf hat auch Jaenschs Versuche mit den Originalscheiben nachgemacht. Er schreibt: „Überall also, wo etwas von Vokaleindrücken entstand, waren die dazu nötigen Obertöne vorhanden. Sonach kann ich die Theorie der „gemischten Sinuskurven" nur als gänzlich mißglückt ansehen".

Die besten Resultate erhielt Hermann mit der Helmholtzschen Doppelsirene. Er konnte in der Tat durch geeignete Kombination der Löcherreihen die Vokale *a*, *å* und *o* deutlich erzeugen und die jedesmalige Geschwindigkeit am Zählwerk ablesen. Die auf diese Weise erlangten und überprüften Ergebnisse der Vokale *o* und *a* stimmen ziemlich befriedigend zu der von Hermann aufgestellten Theorie. Die Vokale *e* und *i* konnten nicht erzeugt werden, da sich die Doppelsirenen nicht bis zu den erforderlichen Geschwindigkeiten antreiben ließen.

Nach den Versuchen von Karl L. Schaefer und Otto Abraham kann es übrigens keinem Zweifel unterliegen, daß durch das Anblasen eines rotierenden, mit Unterbrechungen durchsetzten Löcherkreises ein objektiver, auf pendelförmigen Schwingungen der Luft beruhender Ton, dessen Schwingungszahl mit der Anzahl der Unterbrechungen übereinstimmt, nebst Obertönen zustande kommen kann. Ebenso ist nach denselben Autoren erwiesen, daß auch der aus dem periodischem Größenwechsel der Sirenenlöcher resultierende „Intermittenzton" objektiv als pendel-

förmige Komponente in der durch das Anblasen einer solchen Löcherreihe entstehenden Klangwelle enthalten ist.

Hermann hat später seine Versuche über Synthese von Vokalen erneuert. Er ließ eiserne Scheiben, welche mit systematischen Löchern oder Ausschnitten versehen waren, dicht vor den Polflächen eines Telephons rotieren und verband das letztere mit einem Hörtelephon. War der Winkelabstand der Ausschnittsmitten $1/\varphi$ von 360^0, p die Zahl der Gruppen auf der Scheibe und n die Zahl der Unterbrechungen pro Sekunde, so war die Schwingungszahl des Formanten $f = \varphi \times n$, des Unterbrechungstones (Vokalnote) $r = p \times n$. Jede Scheibe mußte also, um den Formanten f zu geben, f/φ Umdrehungen pro Sekunde machen und gab dann den Vokal auf die Note $r = pf/\varphi$. Die meisten Scheiben, welche *A* lieferten, gaben bei schnellerer Umdrehung allmählich *Ae* und dann *E*. Letzteres entstand aber nicht bei den Scheiben mit runden Löchern, weil hier der Formant nicht kräftig genug entstand.

Das *E* wird um so verschiedener, je zahlreicher die Formanteinschnitte sind, je mehr sie die Periode ausfüllen. Zur Hervorbringung des Vokales braucht die Formantschwingung nicht anaperiodisch zu sein — zur Einzelperiode in festem Verhältnis zu stehen —, jede regelmäßige Unterbrechung der Formantschwingung gibt den Vokal auf die Note des Unterbrechungstones, jedoch scheint der Vokal bei anaperiodischer Formantschwingung vollkommener zu sein. Ein geschlossenes *O* konnte Hermann nicht hervorbringen, häufig gelang dagegen das offene *Ao*.

Endlich wiederholte Hermann den oben beschriebenen Versuch an der Helmholtzschen Doppelsirene mit der elektrischen Sirene. Setzte er zwei Scheiben in Bewegung, die bei 18 Umdrehungen $e^2 — f^2$ bzw. $g^2 — as^2$ gaben, so hörte man ein schönes, deutliches *A* auf der Note *e* im Hörtelephon. Schaltet man beide Aufnahmetelephone nebeneinander in den Kreis des Hörtelephons, so wird das *A* noch charakteristischer, da der Widerstand jetzt wesentlich kleiner wird. So gelingt es auch, dem Differenzton den *E*-Charakter zu verleihen; bei 50 Umdrehungen gibt die eine Scheibe etwa b^3, die andere etwa cis^4, beide zusammen ein schönes *E* auf die Note ais^1. (Pflügers Archiv **91**, 135ff.)

Die oben wiedergegebene Kritik Stumpfs bezieht sich auf alle Versuche Hermanns.

In einer Anmerkung bedauert Nagel (S. 784), daß es bisher nicht gelungen sei, durch eine Zungenpfeife Ansatzrohre von der Größe und Beschaffenheit der menschlichen Mundhöhle so anzublasen, daß klare unzweifelhafte Vokalklänge entstehen, und meint, daß das Gelingen eines derartigen Experiments für die Hermannsche Theorie die schwerstwiegende Bestätigung bedeuten würde. Gutzmann sen. hat dies in einfachster Weise so gemacht, daß er dem eigenen Ansatzrohr die Stellung der gewünschten Vokale gab und dann den Ton einer kleinen Zungenpfeife hineinleitete. Es gelang in der Tat ohne Mühe, die Vokale *a*, *o*, *u* und *e* zu er-

zeugen, wenn er eine gewöhnliche Jahrmarktspfeife, die von einem aufgeblasenen Gummiballon zum Tönen gebracht wurde, in die Mundhöhle leitete. Der Vokal *i* konnte nur erzeugt werden, wenn er den Ton hinter die *I*-Enge brachte; das geschah am besten, wenn er ihn durch einen weichen Katheter durch den unteren Nasengang hinter und unter das Velum einströmen ließ. In dieser Weise läßt Gluck den künstlichen Kehlkopf benutzen, und auch bei normalen Verhältnissen gelingt die Erzeugung der Vokale so ganz ohne Mühe. Wichtig ist dabei, daß das Ansatzrohr der kleinen Pfeife nicht zu kurz sei, da die Tonhöhe sonst von der Mundhöhle jedesmal verändert wird; daß man so Papa, Mama, Puppe, Baum usw. sprechen kann, indem man nur die entsprechenden Artikulationen macht, hat Gutzmann sen. oft bei seinen Vorlesungen gezeigt. Kaka gelingt leicht, wenn man die *K*-Stellung der Zunge festhält und die Öffnung der Pfeife zweimal durch Andrücken an die Vorderfläche des Zungenrückens verschließt. Geht man dann vom zweiten *a* in die *O*-Stellung über, so tönt deutlich Kakao usw.

Vielleicht zu wenig ausgenutzt ist der Klavierversuch von Helmholtz zur Erzeugung der Vokalklänge. Hebt man durch Niederdrücken des rechten Pedals die Dämpfung auf und spricht in den geöffneten Hohlraum des Klaviers einen Vokal hinein, so tönt derselbe aus dem Innern wieder zurück. Donders, dem Helmholtz im Jahre 1859 dies Experiment schriftlich mitteilte, bemerkt dazu recht hübsch: „'t klinkt mij, als of een choor van stemmen of mysterieuse wijse uit de diepte opstijgt, zingende in den ingezongen vocaal.“ Man kann auf diese Weise sämtliche Vokale, aber auch die tönenden Konsonanten *m*, *n*, *η* (= *ng*), *l* deutlich reproduzieren. Ein „Chor von Stimmen“ tönt aber nur dann wieder, wenn man die Vokale spricht oder ruft, nicht wenn man sie auf einen bestimmten Ton hineinsingt. Da die Grundtonhöhe beim Rufen und Sprechen schwankt, so ist das Phänomen des antwortenden Chors von Stimmen leicht erklärlich. Beim Singen klingt nur eine Stimme zurück. Übrigens ist kein Klavier so vollständig gedämpft, daß nicht auch bei unaufgehobener Dämpfung die Vokale, wenn auch nur schwach wiedergegeben würden. Gutzmann sen. hat daher, um nachzuweisen, daß nur die Saiten — nicht etwa der Resonanzboden — als synthetische Resonatoren dabei wirken, dieselben durch aufgelegte und beschwerte Filzstreifen völlig abgedämpft. Man hörte dann auch bei stärkstem Rufen keine Antwort. Läßt man eine beliebige Gruppe von Saiten

durch Abnahme der Filze und durch Niederdrücken der entsprechenden Tasten völlig ungedämpft, so kann man durch Ausprobieren feststellen, in welcher Region der Skala diejenigen Töne liegen, deren Resonanz den Vokal wiedergibt. Man kann demnach den so veränderten Klavierversuch zu einer Vokalanalyse per exclusionem benutzen.

Stumpf hat letzthin bei seinen Versuchen zur Vokalsynthese so einwandfreie und vollkommene Erfolge gehabt, daß das Problem nicht nur in der Theorie, sondern auch praktisch als gelöst betrachtet werden muß. Stumpf arbeitete mit 28 Lippenpfeifen, welche die ersten 22 harmonischen Teiltöne des Grundtones c lückenlos und weiterhin die Teiltöne 24, 26, 28, 32, 40, 48 (g^4, $\bar{b}^4$, c^5, e^5, g^5) angaben. Von c — c^3 sind sie gedeckt, die folgenden offen. Durch eine besondere Einrichtung wurde ein stets gleichbleibender Anblasedruck erzeugt, alle Pfeifen außerdem natürlich gegeneinander schallgesichert. Die Stärke des Tones wurde erst, nachdem der Ton die Pfeife verlassen, reguliert. Für ein gutes *Ä* auf c^1 gibt Stumpf folgendes „Rezept“: (Die Stärkeziffern sind alle mit 4 multipliziert) c^1 4, c^2 10, g^2 12, c^3 12, e^3 4, g^3 4, $\bar{b}^3$ 8, c^4 12, d^4 12, e^4 8, fis^4 8, g^4 8. Die Stärke der Teiltöne beruht auf Schätzung unmittelbar nach dem Gehör. Die Obertöne der einzelnen Pfeifentöne waren durch Interferenz absolut ausgelöscht (Kontrolle durch schwebende Hilfsgabeln).

Die mechanischen Nachbildungen der Vokale sind zwar physiologisch interessant, genügen aber natürlich der Bedingung, die Nagel fordert, nicht. Erwähnen wir kurz die Sprechmaschinen von Kempelen, Faber, die Versuche von Katzenstein, ter Kuile usw. Die Puppenstimmenverfertiger des Thüringer Waldes machen sehr hübsche kleine Maschinen, die Vokale und Wörter gut wiedergeben. Vielleicht sind gerade solche Stimmen für Analysen nicht ohne Bedeutung.

h) Analyse der Konsonanten.

Diese ist zuerst von Hermann und seinen Schülern aufgenommen worden. Der erste Versuch wurde am *L* gemacht.

Hermann teilt die Konsonanten auf Grund der akustischen Eigenschaften in folgender Weise ein:

a) Konsonanten mit Mitwirkung der Stimme (phonische Konsonanten):

1. Glatte Halbvokale, Laute, die insofern zu den Vokalen gehören, als sie geräuschlose Klänge mit einem oder mehreren festliegenden Formanten sind, die aber mit Recht nicht schlechtweg als Vokale, sondern als Halbvokale bezeichnet werden, da sie nicht die Offenheit und den Klang der eigentlichen Vokale haben: *l*, *m*, *n*, *ng*.

2. Remittierende Halbvokale mit den gleichen Eigenschaften, die aber außerdem als Charakteristikum eine relativ langsame periodische Intensitäts- und Amplitudenabwechslung haben: die verschiedenen *r*-Laute.

3. Phonische Dauergeräuschlaute, die aus kontinuierlichen, vom Stimmlaut begleiteten Geräuschen entstehen, in denen gewisse anscheinend nicht mit dem Stimmlaut zusammenhängende Formanten enthalten sind: *w*, *s*, *th*, französisch *j*, *j*.

4. Phonische Explosivlaute, solche, in deren Verschlußzeit die Stimme ertönt: *b*, *d*, *g*.

b) Konsonanten ohne Mitwirkung der Stimme (aphonische Konsonanten):

1. Aphonische Dauergeräuschlaute, Reibungsgeräuschlaute von ziemlich variablem Charakter, in welchen gewisse charakteristische Formanten enthalten sind: *f*, *ss*, *th*, *sch*, *ch* (vorderes und hinteres).

2. Aphonische Explosivlaute: *p*, *t*, *k*.

Ergebnisse: 1. Der *L*-Laut ist in keiner prinzipiellen Hinsicht von den Vokalen verschieden, wie bereits Wendeler richtig erkannte. Er kann deshalb auch auf jeder Stimmnote laut und anhaltend angegeben werden. Der *L*-Laut wird durchaus nicht von einem vorhergehenden oder folgenden Vokal beeinflußt. Die *L*-Kurven sind also in den Silben *al*, *ol*, *il*, *la*, *lo*, *li* absolut identisch. Die Kurven selbst sehen genau wie Vokalkurven aus und gleichen am meisten denjenigen des kurzen *i*. Die Analysen der Kurven ließen eine starke Hervorragung der tiefsten Partialschwingungen erkennen, die vom zweiten und dritten mit zunehmender Höhe der Note allmählich auf den ersten und zweiten und zuletzt auf den ersten Partialton herabrücken. Es handelt sich hier also nicht um einen festen Formanten, vielmehr um eine Eigenschaft, die auch bei manchen Vokalen, namentlich bei *i* sich findet, nämlich das Hervortreten der tieferen Partialtöne. Daneben aber zeigt sich ein wirklicher fester, charakteristischer Ton, d. h.

Formant, in der dreigestrichenen Oktave in der Gegend zwischen *cis*^{3} bis *fis*^{3}, ein Formant, der sich in den kleinen Zacken der Kurve in der Tat deutlich erkennen ließ, und dessen Lage, durch Proportionalmessung bestimmt, durchaus mit den Resultaten der Analyse übereinstimmt; ja die proportionale Messung ergab noch weit deutlicher als die Analyse, daß der *L*-Laut durch einen Formanten zwischen f^3 und g^3 charakterisiert war. Nebenbei sei bemerkt, daß die *L*-Kurve von Wendeler recht gut mit den von Hermann und Mathias gefundenen *L*-Kurven übereinstimmte.

Stumpf vergleicht auf Grund seiner Analysen das *L* im wesentlichen mit einem näselnden *u*. Das ist genetisch nicht richtig. Beim *L* wird niemals ein Teil der (Luft) Leitung in die Nase verlegt. Der nasale Klang ist wohl vorhanden, hat aber mit der Nase nichts zu tun. Man kann ein *m* z. B. leicht bei völlig geschlossener Nase erzeugen, indem man zwischen die Lippen ein enges, etwa 2 bis 3 mm ∅ Röhrchen steckt und dann anlautet. Es ertönt ein echtes *m*. Der nasale Klang kommt also nicht so sehr von der Nase her, sondern einmal von der Enge der benutzten Leitung, dann aber spielt dabei wohl auch die Spaltung des Ausatmungsstromes eine Rolle. Bei *m*, *n*, *ng* haben wir die enge Nasenleitung, bei *L* wird die Enge dadurch hergestellt, daß die Zunge sich in ihrer ganzen Breite in der Mundöffnung ausspannt und der Luft nur rechts und links zwischen Zungenrand und Wangenrand einen engen Kanal freigibt.

Stumpf gibt den Formanten für *L* mit $c^4 — f^4$ an. Ganz ähnliche Resultate erhält Trendelenburg. Gewisse Widersprüche in der Auffassung der Wertigkeiten beider Formantgebiete (von beiden Forschern angegeben) sollen hier nicht entschieden werden, lassen sich aber wohl, wie schon Trendelenburg selbst hervorhebt, damit erklären, daß Stumpf seine Angaben ausdrücklich auf stimmlose Konsonanten bezieht, während Trendelenburg stimmhafte Konsonanten untersucht hat.

Für *M* liegt nach Hermann ein Formant etwa bei h^3 bis c^4, der durch Auszählung gefunden wurde. Bei der Analyse zeigten sich außer diesem noch Prominenzen bei e^2 bis *gis*^{2}, bei e^3 bis *fis*^{3} und bei h^3 bis *cis*^{4}.

Stumpf bestimmt die Formantregion der Nasalkonsonanten *m*, *n* und *ng* auf etwa $b^3 — f^4$. Demnach wäre für die Nasallaute überall die gleiche Formantregion zuständig. Stumpf spricht geradezu von „Näselformanten“. Ähnlich Trendelenburg, der

noch besonders darauf hinweist, daß es kaum möglich ist, weder subjektiv noch objektiv, *m* und *n* stets mit Sicherheit auf rein akustischem Wege (durch das Ohr) voneinander zu unterscheiden. Ein sicherer Unterschied zwischen *m* und *n* war nicht nachzuweisen. Interessant ist, daß Hermann bei zahlreichen Kurven, in welchen ein Vokal zwischen zwei *m* oder *n* steht, deutlich nachweist, daß die Note des Anfangskonsonanten meist um eine Quart oder eine Terz tiefer war als die des folgenden Vokals und des Endkonsonanten, was er nachträglich auch durch das Gehör bestätigen konnte. „Man kann sich freilich zwingen, auch dem Anfangskonsonanten die Note des folgenden Vokals zu geben, und wenn man unisono mehrere Silben unmittelbar hintereinander singt, geschieht dies von selber stets, aber bei dem ungezwungenen Aussprechen besteht wenigstens bei mir und bei anderen darauf geprüften Personen die Neigung, mit einem erheblich tieferen *m* oder *n* anzufangen, und dasselbe gilt auch für andere phonische Anfangskonsonanten ...“ (vgl. hierzu S. 95).

2. Die remittierenden Halbvokale (*R*-Laute). Die Periodik des Schnurrens äußert sich in einem schwebungsartigen Amplitudenwechsel der Gesamtkurve, die aber im übrigen ihre charakteristische Gestalt beibehält (so schon Wendeler). Die Häufigkeit des Wechsels unterliegt großen individuellen Verschiedenheiten, wobei das Gaumen *r* bei derselben Person oft größere Unterbrechungszahlen aufweist als das Zungen *r*. Die Notenhöhe hat keinen entschiedenen Einfluß, außer bei großer Anstrengung, wobei die Anzahl der Schnurroszillationen mit der Note steigt; der Anstrengungsgrad erhöht entschieden ihre Zahl. Hermann erwähnt noch, daß beim Sprechen für ein *r* mitten im Wort schon sehr wenige Schnurroszillationen, fünf und weniger, genügen, um ein für das Gehör deutliches *r* zu liefern. Beim schnellen Sprechen werden im Deutschen bei dem lingualen *r* durchschnittlich kaum mehr als zwei Schnurroszillationen gemacht, ja es genügt eine einzige, um den Charakter des *r* zu erkennen. Man könnte dementsprechend das *r* sogar so bestimmen, daß man für eine wirkliche Charakterisierung des Lautes nur eine flüchtig vorübergehende Abdämpfung der Vokalkurve verlangt. Diese Vokalkurve bleibt in den *r*-Kurven durchaus erkennbar, und so gibt Wendeler an, daß in dem Worte Arro das *r* zuerst eine in der Amplitude schwankende Fortsetzung der *a*-Kurve darstellt, später in eine oszillierende *o*-Kurve und zuletzt in ein glattes *o* übergeht. Man

vergleiche hierzu weiter unten die Abb. 90. Hermann meint, daß dazwischen eine vollkommen selbständige Kurve des *R* auftrete, die besonders dann schön zu sehen sei, wenn man das *R* zwischen zwei Vokalen lange aushalte. In der Tat kann man ja ein gutes *r* ohne besondere Vokalfärbung deutlich sprechen. Der ausgezählte Formant war für die Note *c* (128 Schwingungen) ais^3 bis h^3, für die Note *e* (160 Schwingungen) h^3 bis cis^4, für die Note *g* (192 Schwingungen) h^3 bis cis^4. Man sieht, daß dieser Formant mit demjenigen von *m* und *n* übereinstimmt. Bei der Analyse zeigten sich für das Zungen *R* noch Formanten bei h^2 und im zweiten Teile der dritten und im Anfang der vierten Oktave, welch letztere mit den Ergebnissen der Auszählung übereinstimmten. Für das Gaumen *R* fand sich ein Formant im zweiten Teile der dritten Oktave.

Stumpf hat streng zwischen stimmhaften und stimmlosen *r* (Zungen *r*) unterschieden. Den Formanten für das stimmlose *r* fand er bei a^2 bis a^3. Er sagte dann weiter: Bei stimmhaftem, tonalem *r* sind die Verhältnisse ganz dieselben, und kommt nur noch der Stimmton selbst (nebst Obertönen) hinzu. Trendelenburg untersuchte wieder den stimmhaften Laut (Zungen *r* sowohl wie Gaumen *r*) und findet dementsprechend eine bedeutend höhere Formantregion, etwa in der vierten gestrichenen Oktave.

3. Die phonischen Dauergeräuschlaute *w*, *s*, *j* und *j* (französisch). Hier zeigt sich eine sehr deutlich ausgesprochene Stimmperiode wie bei *l*, *m* und *n*, auf welche feine Zäckchen aufgesetzt sind, die jedoch nicht die regelmäßige Beschaffenheit haben wie diejenigen der glatten Halbvokale. Sie wechseln ihren Abstand unregelmäßig innerhalb der Stimmperiode, so daß es schwer ist, sie auszuzählen. Die mittlere Schwingungszahl entsprach den Noten c^4 bis d^4, nicht selten auch fis^3 bis ais^3, bei dem labiodentalen *w*. Das tönende *s* zeigte Zäckchen von der mittleren Schwingungszahl von ais^3 und c^4 bis e^4. Bei dem französischen *j* fanden sich dementsprechend die Noten ais^3 bis h^3 und cis^4 bis f^4. *j* zeigte wenig charakteristische Kurven, die Zäckchen entsprachen den Noten c^4 und e^4 und waren offenbar identisch mit dem Formanten des Vokales *i*.

4. Die phonischen Explosivlaute *b*, *d*, *g*. Den Blählaut dieser drei tönenden Explosivlaute bestimmte Hermann durchweg auf die Noten zwischen g^3 und a^3, ohne daß er zwischen den einzelnen Konsonanten Unterschiede sicher festzustellen vermochte. Der Luftdruckausschlag zeigte sich bei *b*, aber lange nicht so be-

trächtlich wie bei *p*, bei *d* und *g* überhaupt nie. Wenn *b*, *d* und *g* gesprochen wurden, ohne daß ein Vokal darauf folgte, wie z. B. im französischen Aube, Suède, plague, so zeigte die Kurve eine Art Vokalschwankung, welche bei *g* gewöhnlich niedriger war als bei *b* und *d*. In diesen ließ sich der Formant leicht auszählen. Er lag unabhängig von der Stimmnote bei g^3 bis a^3, bei *d* ein wenig höher, bei h^3 bis c^4.

Wichtig ist, was Hermann selbst über die Kurven und seine bisherigen gesamten Ergebnisse sagt: „Zunächst weist die Akustik der Sprachlaute an sich noch größere Lücken auf, welche niemand weniger verkennen kann als ich; denn ich gestehe, daß ich mir nicht getraue, beim Anblick jeder, selbst gut gelungenen Konsonantenkurve mit Sicherheit zu sagen, welchen Konsonanten sie darstellt.

Von der Möglichkeit, eine in eine fortlaufende Kurve umgesetzte Phonographenschrift zu lesen, sind wir also noch sehr weit entfernt. Und doch wäre eine solche Schrift das Ideal aller denkbaren Schriftarten, denn sie enthält nicht allein das, was jede gedruckte und geschriebene Schrift bietet, sondern zugleich Aussprache und Klangfarbe des Sprechenden, alle Hebungen und Senkungen der Stimmnote, alle Pausenverhältnisse usw., und bei Sprache, Gesang (Lied) auch die Melodie, ja die eventuelle Begleitung und, wenn diese ein Orchester ist, die ganze Partitur der Oper einschließlich des Textes. Die Herstellung einer so vollkommenen Phonographenkurve dürfte auf weniger Schwierigkeiten stoßen als die Fähigkeit, sie zu entziffern, d. h. aus dem durch eine einzige Linie dargestellten Tongewirre diejenigen Bestandteile herauszuerkennen, welche das Ohr mit unvergleichlicher Leichtigkeit heraushört."

Stumpf kann die Hermannschen Konsonantformanten als solche nicht anerkennen, da „die für den Lautcharakter entscheidensten Strecken bei Konsonanten noch weniger als bei Vokalen auf eine einzige Tonhöhe beschränkt sind." Hermann selbst sagte von seinen Ergebnissen: „Alle diese Bestimmungen selbstverständlich sehr ungenau." Die für *Sch* und *S* von Weiss und Garten sind ähnlich wie bei Stumpf. Trendelenburgs Werte für *Sch* liegen dagegen erheblich höher, als bei Stumpf, was Stumpf mit dem anderen, viel „schärferen" Klangcharakter des Trendelenburgschen *Sch* erklärt.

Die neuesten Untersuchungen stammen von J. B. Crandall (Amerika). Auch seine Werte liegen in der Nähe der von Stumpf

mit der Interferenzmethode und der von Trendelenburg mit dem Kondensatormikrophon ermittelten Gegenden. Crandalls Versuche sind übrigens ebenfalls mit den neuesten Mitteln der Radiophonie ausgeführt.

Zur Erklärung des von Stumpf so nachdrücklich betonten Vokalcharakters auch der stimmlosen Konsonanten kann vielleicht eine Arbeit von F. Äimä über seine vorläufigen Versuche zur Endoscopie der Kehlkopfartikulation der Lippenverschlußlaute sowie der Dauergeräuschlaute *h*, *s*, *f* beitragen. Er hat bei den erwähnten Lauten sorgfältig den Kehlkopf beobachtet und bei jedem Laut auch typische Stimmlippenbewegungen festgestellt. (Hier auch ausführliche Literatur über dieses Thema.)

5. Die aphonischen Explosivlaute *p*, *t*, *k*. Bei den Kurven ist für alle drei Konsonanten bei vorhergehendem Vokal charakteristisch eine ziemlich lange stumme Zeit (Verschlußzeit), in welcher die Kurve natürlich auf der Abszissenachse verläuft. Die Dauer dieses Verschlusses war bei Hermanns Kurve niemals unter 0,1″, meist betrug sie 0,3 bis 0,4″, bei *t* und *k* in der Regel etwas mehr als bei *p*; bei zwei aufeinanderfolgenden Silben, wie pippip, pappap usw., war die Pause nach dem zweiten Vokal viel länger als nach dem ersten, bis über das Doppelte und mehr. Natürlich kann man die Verschlußzeiten auch willkürlich beliebig verlängern. Nach der Pause zeigte sich der Ausdruck der Explosion stets in Gestalt einer kurzen Geräuschkurve, oft zugleich in Gestalt eines starken Ausschlags durch gesteigerten Luftdruck, der bei *p* stets sehr steil begann und allmählich nachließ, während bei *t* und *k* die beiden Schenkel symmetrischer und weniger steil waren. Die Gesamtdauer der Explosion war bei *p* am größten und betrug bei *p* $^1/_{30}$ bis $^1/_{10}$ Sekunde. Der Luftdruck der Explosion ist für das Hören der Konsonanten ohne jede Bedeutung. Oft fehlt sie ganz bei *p*, *t*, *k*, während der Phonograph sie bei *p*, *t*, *k* so wie sonst hören läßt. Dem Explosionsgeräusch folgen bei *p* in der Regel unmittelbar die Perioden des Vokals, während bei *t* und *k* meist eine stumme, sehr kurze Zeit mit unbedeutenden Geräuschoszillationen folgte, was auch bei *p* zuweilen vorkam. Gutzmann sen. meint, daß hier ganz deutlich der Charakter der aspirierten Tenuis sich zeigte. Die Bestimmung der Geräuschkurven ist in eigentlicher Analyse nicht möglich, da diese Kurven unperiodisch sind. Aber meist zeigen sich in längeren Strecken annähernd äquidistante Zacken von oft beträchtlicher Höhe, die

man für gewisse Abszissenlängen auszählen und bei denen man durch Vergleichung mit den Periodenlängen des angrenzenden Vokals von gegebener Note die entsprechenden Töne bestimmen kann. Bei Hermanns *p* lag dieser Ton bei 213 bis 226 Schwingungen = *a* bis *ais*, in einigen wenigen Kurven bei 290 bis 320 = d^1 bis e^1, für *k* bei 1370 bis 1440 = f^3 bis fis^3, für *t* bei 1428 bis 1536 = fis^3 bis g^3, einmal bei 1920 = h^3.

Stumpf gibt nur das Formantgebiet von *k* genauer an. Nach ihm liegt es von des^3 bis es^4.

6. Die aphonischen Dauergeräuschlaute *f*; *ss*, *sch*, *ch* (vorderes) und *ch* (hinteres). Für das hintere *ch* bestimmte Hermann den charakteristischen Ton für die Gegend von b^2 bis des^3; indessen mischten sich öfter dichter gedrängte Zacken ein, meist Schwingungszahlen um 1300 herum, d. h. von e^3 bis f^3. Beim *sch* fanden sich solche von 1200 (dis^3) bis 2700 (f^4), meist um 2000 (h^3), bei *ss* Schwingungszahlen der Zacken von meist 1600 bis 2000 (gis^3 bis h^3), außerdem oft solche von 1000 bis 1100 (h^2 bis des^3). Beim starken *ss* zeigten sich zuweilen sehr feine Zäckchen für Schwingungen um 3000 = g^4, die auf gröbere (etwa 600) aufgesetzt waren. Das vordere *ch* zeigte ziemlich grobe Zacken (750 bis 800, in einem Falle sogar nur 456 pro Sekunde), auf welche in einigen Kurven weit feinere aufgesetzt waren, welche Schwingungen von etwa 1100 (des^3), 2280 (d^4) und 2736 (f^4) zeigten. Die Kurven von *f* ließen, wenn es sehr kräftig gesprochen wurde, gewöhnlich eine bestimmte Periodik von 150 bis 250 Schwingungen pro Sekunde erkennen, die Hermann auf den Ton bezieht, den in solchen Fällen die Lippen oder die Unterlippe mit den oberen Schneidezähnen geben. Dem gewöhnlichen *f* fehlt diese Periodik, und es zeigen sich gröbere und feinere Zacken, in welchen teilweise Schwingungszahlen von 1300 bis 1500 (f^3 bis g^3) und 1700 bis 2000 (a^3 bis c^4) gezählt werden können. Hermann selbst hebt hervor, daß in den Lauten *ch* (hinteres), *ss* und *ch* (vorderes) das Ohr die Beteiligung sehr hoher Töne heraushöre, jedenfalls weit höhere, als sie aus den Zäckchen auszählbar seien, und ist daher überzeugt, daß das Verfahren für die vollständige Darstellung dieser Laute nicht ausreiche (vgl. S. 112). In der Tat sind ja auch diese Laute, besonders das *ss*, durch den Phonographen nur schlecht wiederzugeben. Ich darf in dieser Beziehung auf Versuche verweisen, die Gutzmann sen. zu ganz anderen Zwecken mit dem Phonographen angestellt hat.

Für die aphonischen Dauergeräuschlaute verweise ich auf die von Stumpf zusammengestellte Tabelle seiner Ergebnisse:

Stimmlose Konsonanten	Formanten	Gesamtumfänge
R ling	$a^2 — a^3$	$(f)\ d^1 — b^4$
K (*P*, *T*)	$des^3 — es^4$	$f — g^4$
Ch gutt.	$d^3 — a^3$	$c — es^4$
H	$es^3 — des^4$	$g^1 — des^4$
Sch (mittleres)	$f^3 — es^4$	$a^1 — c^6$
Mg, *M*, *N*	$b^3 — f^4$	$c^2 — f^4\ (c^5)$
L	$c^4 — f^4$	$c^2 — g^4$
Ss	$des^4 — c^5$	$a^1 — d^6$
F	$des^4 — des^5$	$a^1 — b^5$
Ch pal	$es^4 — des^5$	$a^1 — b^5$

Eine übersichtliche Zusammenstellung der Verfahren der akustischen Vokaluntersuchung, wie sie von Kurt Huber auf der Münchener Tagung der deutschen Gesellschaft für Stimm- und Sprachheilkunde und Phonetik 1926 gebracht wurde, gebe ich hierunter wieder:

Methoden der akustischen Vokaluntersuchung.

A. Phänomenale Analyse der Vokalqualitäten. (System der Vokalqualitäten.)
B. Experimentelle Methoden.
  I. Analyse.
    1. Abhörmethode („subjektive“ *M*).
      a) Subjektive Vokalanalyse.
      b) Analyse durch Resonanz. (Resonatoren, Methode der resonierenden Hilfsgabeln.)
      c) Analyse durch Interferenz. (Interferenz, Methoden von Grützner, Stumpfs Ab- und Aufbaumethode.)
    2. Registriermethoden.
      a) Registrierung der Gesamtwelle.
        1. Direkte Verfahren. (Otto Frank, Weiss, Garten Struycken.)
        2. Mikrophon-Verfahren. (Oszillograph, Kondensatormikrophon von Trendelenburg.)
        3. Rußmethode (Marbe).
      b) Stroboskopische Zerlegung.
  II. Synthese der Vokale.
    1. Harmonische Synthesen (Helmholtz, Miller, Stumpf).
    2. Nichtharmonische Synthesen.
      a) Jaenschs Verfahren (Selensirene).
      b) Vokalnachahmungen (Gutzmann sen., Garten, ter Kuile u. a.).

2. Formen und Bewegungen des Ansatzrohres.

Während sich die bisher besprochene akustische Analyse vorwiegend mit den Klangerscheinungen beschäftigt, beziehen sich die folgenden Abschnitte auf die verschiedenen Verfahren, mittels deren man Stellungen und Bewegungen der Ansatzrohrteile genauer verfolgen und demnach feststellen kann, durch welchen Mechanismus der vorher besprochene Klang der Stimme erzeugt wird. Alle diese Sprechbewegungen können in verschiedener Weise analysiert werden: erstens durch Beobachten und zweitens durch Aufzeichnen. Gewöhnlich nennt man das erste Verfahren das subjektive, das zweite das objektive, obgleich damit durchaus nicht gesagt ist, daß letzteres unter allen Umständen immer besser und zuverlässiger sein muß. Denn bei keinem Verfahren, welcher Art es auch immer sei, schützen uns irgendwelche leicht übersehbare Fehler der Versuchsanordnung vor Irrtümern. Es ist zwar ein weit verbreiteter Irrtum, zu glauben, das Aufzeichnen müsse stets zu phonetisch sichereren und zuverlässigeren Ergebnissen führen, als scharfes Beobachten und Hinhören, aber es bleibt deswegen doch ein Irrtum. Die Anwendung der Graphik hat eine große Reihe von Nachteilen im Gefolge, vor allem die Zwangslage, in welche die zu untersuchende Person versetzt wird, welches Instrument auch immer verwendet werden mag. Schon die scheinbar ganz objektive Untersuchung der Sprachklänge mittels phonographischer Aufnahmen zeigt deutliche Mängel, da man nur bei stärkerem Hineinsprechen Kurven bekommt, die meßbar und untersuchbar werden. Auch der Hensensche Apparat erfordert ein starkes Ansprechen, das jedenfalls stärker ist, als es in der gewöhnlichen leichten, flüchtigen Umgangssprache üblich ist. Das gleiche ist bei dem Samojloffschen Apparat der Fall. Ein Apparat, der zuverlässig auch ganz leichte, gewöhnliche Sprache aufzeichnet und für die zu untersuchende Person keinerlei Unbequemlichkeiten mit sich bringt, ist der Struyckensche, mit dem bisher der Erfinder allein zu arbeiten Gelegenheit hatte. Auch das Weisssche Phonoskop scheint genügend Empfindlichkeit zu besitzen (siehe oben). Die genauesten Ergebnisse liefert aber wohl die Kapsel des Frankschen Apparats. In neuester Zeit sind sehr schöne Kurven mit dem Kondensatormikrophon durch F. Trendelenburg sowie mittels der radiophonischen Anlagen Millers und Crandalls in Amerika aufgenommen worden. Auf anderem Wege, nämlich vermittelst des

Interferenzverfahrens, das er außerordentlich sorgfältig und genau ausgebaut hat, gelangte C. Stumpf zu seinen bekannten Klanganalysen. Bei unseren graphischen Verfahren dürfen wir niemals die Beeinflussung durch die Untersuchungsart selbst außer acht lassen und nie vergessen, daß man zutreffende Untersuchungsergebnisse nur von Personen erwarten kann, die selbst genügend mit derartigen Versuchen vertraut sind, um sich aus ihrer gewöhnlichen Sprechbewegung nicht durch die mit der Untersuchung meist verknüpfte Erregung herausbringen zu lassen. Es wäre ein schwerer Untersuchungsfehler, wollte man einen ganz unvorbereiteten Menschen mit sämtlichen graphischen Instrumenten untersuchen und die aufgezeichneten Ergebnisse nun wissenschaftlich verwerten. Auch das einfache Beobachten ohne Instrumente und das Betasten der Sprechwerkzeuge, das Nachforschen nach Vibrationen an den verschiedenen Stellen des Ansatzrohres und vieles andere mehr muß mit sehr großer Vorsicht betrieben werden, da es erfahrungsgemäß schon oft genug zu fehlerhaften Ergebnissen geführt hat.

a) Analyse der Sprechbewegung durch Beobachten.

Drei Sinne stehen uns zur Verfügung, mit denen wir die Sprache beobachten können: das Gehör, das Gesicht und das Getast.

Was die Bedeutung des Gehörs für die Beobachtung anlangt, so ist darüber bereits bei der Analyse der Vokale gesprochen worden, und wir sahen, daß man imstande ist, auch aus den einfach gesprochenen oder gesungenen Vokalen die Obertöne herauszuhören. Die Beobachtung der gesprochenen Laute durch das Gehör hat aber doch engere Grenzen, als man gemeiniglich anzunehmen geneigt ist. Man glaubt oft einen bestimmten Laut zu hören und in Wirklichkeit wurde nur ein ähnlich klingender gesprochen. Wie häufig werden besonders akustisch ähnliche Lauterscheinungen miteinander verwechselt! Prof. Meinhof berichtete aus seinen Erfahrungen am Orientalischen Seminar, daß die Schüler, denen er auftrug, eine afrikanische Sprache, von der sie bis dahin noch keine Ahnung hatten, phonetisch aufzunehmen (d. h. in Buchstabenzeichen niederzuschreiben, was sie hörten), dabei ganz gewöhnlich die klangähnlichen Laute verwechselten. Meinhof führt in seiner „Linguistik“ (1906) folgendes aus: „Nehmen wir mit den Ohren einen bekannten Schall

auf, den wir selbst erzeugen können, so werden wir ihn sofort identifizieren. Hören wir z. B. die Silbe *na*, die wir selbst ohne Mühe sprechen, so wissen wir sofort, was wir gehört haben. Hören wir aber die Silbe *ssa*, bestehend aus dem lateralen Schnalz und *a*, so werden wir, wenn wir den Schnalz noch nicht kennen, zunächst überhaupt keine Rechenschaft geben können, was wir hören. Erst wenn wir gelernt haben, ihn selbst nachzusprechen, werden wir ihn auch wieder erkennen, wenn andere ihn sprechen." Er stellt danach für phonetische Untersuchungen den Satz auf: Man hört nur das genau, was man selbst sprechen kann. In vielen Fällen genügt es, die Fehler zu vermeiden, wenn neben dem Gehör das Gesicht zur Beobachtung benutzt wird, aber durchaus nicht immer, denn es gibt zahlreiche Laute, die so feine unterschiedliche Eigentümlichkeiten haben, daß wir sie weder mit dem Auge noch mit dem Ohr unmittelbar richtig auffassen können, und daß erst ein näheres Studium uns die Erkenntnis vermittelt. Will man die Grenzen der sprachlichen Auffassung, und damit die Fehlergrenzen dieser einfachen Untersuchungsverfahren feststellen, so muß man prüfen, wieviel das normale Ohr überhaupt von der Sprache aufzunehmen imstande ist. Die Versuche, die früher dazu gemacht wurden, sind durchaus unzulänglich; denn entweder hat man einfach die Entfernungen geprüft, in denen Flüsterstimme noch vernommen wurde, oder man hat zu der Prüfung Wörter verwandt, nicht einfache Laute[1]). Verwendet man aber bei der Hörprüfung ganze Wörter, so ist es klar, daß neben dem einfachen Höreindruck noch etwas hinzukommt: die Erinnerung an eine früher schon gehabte klangähnliche Wahrnehmung. Auf diese Weise ist es sehr leicht, Wörter und Zahlen zu erkennen, selbst wenn man sie nicht genau hört. Der Unterschied zwischen dem einfachen Hören und dem Verstehen besteht eben darin, daß wir bei dem Gespräch nur einen Teil des Gesprochenen wirklich hören, das Fehlende aber leicht und zuverlässig ergänzen. Tritt diese Kombination, z. B. bei Nennung eines selteneren Personennamens, nicht ein, so sind wir nicht imstande, zu verstehen. Man kann sich beispielsweise sehr leicht überzeugen, daß wir am Telephon die Explosivlaute *p*, *t*, *k* nicht unterscheiden können, daß wir *f*, *ss*, *sch*, *ch*, *z*, *x* miteinander vertauschen.

---

[1]) In Scriptures Werk findet sich eine Untersuchungsreihe an Schulkindern angestellt von Wiltse mit den Worten: *fan*, *log*, *long*, *ken*, *dog*. Die Ergebnisse der Untersuchungen sind den folgenden durchaus ähnlich.

Um die Grenzen unserer Wahrnehmungsfähigkeit dabei festzustellen, nahm Gutzmann sen. die Prüfung des Gehörs mit sinnlosen Silben vor, indem er willkürlicherweise 233 Silben durcheinander mischte, sie zu dreien, vieren oder mehreren anordnete, sie auch einzeln ließ, und erhielt auf diese Weise 111 sinnlose Wörter, die er den zu untersuchenden Personen diktierte, und zwar in der gewöhnlichen Stärke der Unterhaltungsstimme a) durch einen sehr gut funktionierenden Fernsprecher, b) ohne Vermittlung des Fernsprechers. Bei einem solchen Telephonversuch mit einem 18jährigen Menschen ergab sich, wenn wir in den folgenden Brüchen die falsch verstandenen Laute in den Zähler, die gesamten Laute in den Nenner setzen, für die falsche Auffassung der einzelnen Laute folgendes Ergebnis:

$$b = \frac{11}{17},\ d = \frac{3}{15},\ g = \frac{4}{11},\ p = \frac{7}{15},\ t = \frac{6}{12},\ k = \frac{4}{14},\ m = \frac{5}{10},$$

$$n = \frac{4}{7},\ ng = \frac{4}{5},\ r = \frac{14}{18},\ f = \frac{1}{13},\ j = \frac{2}{8},\ f = \frac{6}{10},\ s = \frac{4}{10},$$

$$ch\ (\text{vorn}) = \frac{2}{5},\ z = \frac{4}{10},\ ch\ (\text{hinten}) = \frac{2}{5},\ x = \frac{1}{5},\ sch = \frac{5}{10},$$

$$'\,^{1)} = \frac{6}{13}.$$

Immer richtig wurden *l* und *r* wahrgenommen. Zahnlaute wurden 52 mal, Lippenlaute 15 mal, Gaumenlaute 20 mal eingesetzt. Bei einer zweiten Person wurden im ganzen 78 Fehler gemacht. Zahnlaute wurden 19 mal eingesetzt, besonders oft ist darunter das *t*, Lippenlaute 5 mal, Gaumenlaute 14 mal. Stets richtig aufgefaßt wurden *ng*, *l* und *r*. Der Bruch:

$$\frac{\text{Nichtperzeption}}{\text{Gesamtzahl der Laute}}$$

war bei $b = \frac{4}{17},\ d = \frac{2}{15},\ g = \frac{3}{11},\ p = \frac{10}{15},\ t = \frac{3}{12},\ k = \frac{3}{14},$

$$m = \frac{3}{10},\ n = \frac{2}{7},\ ng = \frac{0}{5},\ l = \frac{0}{12},\ r = \frac{0}{16},\ w = \frac{8}{18},\ s = \frac{4}{13},$$

$$j = \frac{2}{8},\ f = \frac{7}{10},\ ss = \frac{3}{10},\ ch\ (\text{vorn}) = \frac{2}{5},\ ch\ (\text{hinten}) = \frac{1}{5},\ z = \frac{3}{10},$$

$$x = \frac{1}{5},\ sch = \frac{1}{10},\ h = \frac{5}{11},\ ' = \frac{7}{23}.$$

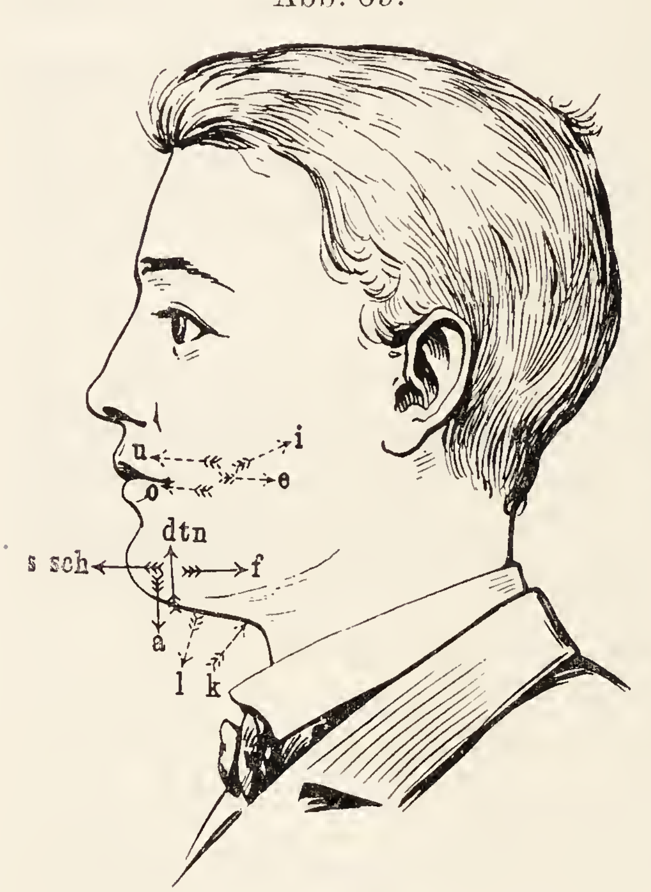
Dabei muß ausdrücklich bemerkt werden, daß der Fernsprecher das Gesprochene vorzüglich wiedergab, so daß Zwischenbemerkungen und Zwischenfragen immer ohne Wiederholung verstanden wurden. Die beiden benutzten Fernsprecher befanden sich in zwei benachbarten Häusern der Gutzmannschen Klinik. Wenn nun auch individuelle Momente es mit sich brachten, daß die Ergebnisse bei den verschiedenen Personen ziemlich ver-

---

[1]) Das Zeichen ' bedeutet den festen Stimmeinsatz.

schieden ausfielen, so war eins doch typisch: bei dieser Prüfung mit sinnlosen Silben wurden als miteinander leicht verwechselbar folgende Konsonantengruppen gefunden: *p, t, k—b, d, g—sch, f, z, ss, x, ch—m, n, ng—w, s, j. R* und *l* wurden gewöhnlich richtig aufgefaßt. Der feste Stimmeinsatz wurde oft mit Verschlußlauten, der Hauch mit dem festen Stimmeinsatz oder auch mit den Tenues verwechselt. Die Fehler bei der Vokalwahrnehmung sind auffallend gering. Auch die Diktierversuche ohne Fernsprecher fielen, wenn auch nicht ganz so, doch in der allgemeinen Richtung ähnlich aus. Auch hier zeigten sich die Konsonantenverwechslungen, die schon bei den Telephonversuchen gefunden worden waren. Weitere Versuche über die Wahrnehmung des gesprochenen Wortes stammen von Ruederer. Er prüfte die Wahrnehmung eines einzelnen Lautes, indem er alle Möglichkeiten untersuchte, die eine solche Wahrnehmung auslösen können. Solche Möglichkeiten sind: Intensität (Durchschlagskraft), Schallhöhe, Sprechtonhöhe, Schallcharakter, Dauer des Erklingens. Die Ergebnisse weichen teilweise etwas von den Gutzmannschen ab. Neuere Versuche von Heinitz betreffen die Konsonantenübertragung durch Rundfunk (Vox 1926). Über die Einzelheiten aller dieser Versuche müssen die speziellen Arbeiten nachgelesen werden.

Abb. 69.



Unser zweites subjektives Beobachtungsinstrument ist das Auge. Auch das Gesicht hat in der Verfolgung der sprachlichen Bewegungen seine natürlichen Grenzen, was schon von der Art dieser Bewegungen abhängt. Denn wir werden naturgemäß nur diejenigen Bewegungen wahrnehmen können, die äußerlich leicht sichtbar sind. Machen wir eine Prüfung der äußerlich sichtbaren Sprechbewegungen, so finden wir drei Beobachtungsstellen: 1. am Unterkiefer, 2. an den Weichteilen der Wangen und Lippen und 3. am Mundboden. In der Abb. 69 sind die drei Beobachtungsstellen durch verschiedenartige Pfeile bezeichnet: einfache Linie, unterbrochene Linie und punktierte Linie. Dabei zeigt sich, daß einer ganzen Anzahl von Lauten dieselbe Stellung, ja dieselbe Bewegung zukommt. So ist eine Bewegung des Unterkiefers nach oben, ohne daß dabei gleichzeitig der Mund geschlossen wird, typisch für die Laute *d, t* und *n*. Tritt dazu ein Schluß der

Lippen, so ist es *b*, *p*, *m*. Geht der Unterkiefer nach vorn, so kann man dessen sicher sein, daß ein *s* gesprochen wurde. Gehen aber dabei gleichzeitig Lippen und Wangen nach vorn, so ist dies als *sch* zu deuten. Die Bewegung des Unterkiefers nach unten heißt *a*. Geht der Unterkiefer nach hinten, so entspricht dies der Bildung von *f* und *w*. Die Lippen-Wangenbewegungen zeigen sich bei *o* und *u* nach vorn, bei *e* nach hinten, bei *i* in der Richtung nach schräg-hinten-oben. Am Mundboden erkennen wir zwei wichtige Bewegungen. Eine Bewegung des vorderen Mundbodens nach unten bedeutet *l*, am Unterkieferhalswinkel nach oben entspricht der Aussprache von *g*, *k* und dem Nasallaut *ng*. Damit sind im wesentlichen alle Sprechbewegungen, die wir beim Sprechen leicht mit den Augen auffassen können, erschöpft. Die oben geschilderten Bewegungen, namentlich des Mundbodens und der Wangen, sind jedoch nur bei recht deutlicher Aussprache ausgeprägt.

Man erkennt daraus, daß die Auffassung des deutlich Gesprochenen durch das Auge nicht viel schlechter daran ist, als die durch das Ohr; denn wir sahen ja, daß auch vom Ohr Konsonanten miteinander verwechselt werden können, und wenn wir allein mit dem Auge beispielsweise ein gesprochenes Wort, wie das Wort „Baum“ verfolgen, so sehen wir, wie der Sprecher zunächst die Lippen aus irgend einer zufälligen Lage heraus deutlich schließt, oder wenn er sie schon geschlossen hat, sie doch ein wenig energischer aufeinanderdrückt, daß er sie dann öffnet, in die *a*-Stellung übergeht, darauf schnell in die gerundete Form bei *u* geht und die Lippen wieder schließt. Diese Bewegung kann nun „paum“ oder „baum“ oder „maum“ bedeuten, vielleicht auch „paup“ oder „baup“ oder „maup“. Die Entscheidung ist einfach; wir wählen unter den drei zur Auswahl stehenden Möglichkeiten das *b* am Anfang und das *m* am Schluß als das Wahrscheinlichste und wissen, daß der Sprecher „Baum“ sagte. Daß der letzte Lippenschluß als *m* leicht erkannt wird, ist klar, wenn der Mund nach der Aussprache dieses Wortes geschlossen bleibt. Immerhin behalten wir, obgleich wir dieses Wort mit dem Auge allein leicht erkennen können, eine Auswahl zwischen drei Konsonanten, und daß wir den richtigen ohne weiteres wählen, verdanken wir einzig und allein der hierbei wie bei dem Gehör wirkenden „eklektischen Kombination“ auf Grund unserer Kenntnis der Wörter.

Übrigens zeigt sich, daß es ebenso wie „Lautbilder“ auch „Silbenbilder“, „Wortbilder“ und sogar „Satzbilder“ gibt. Gerade letztere ermöglichen es bei genügendem Sprachumfang den Schwerhörigen und Ertaubten, oft mit erstaunlicher Geschicklichkeit den Sinn vom Gesicht abzulesen (siehe unten).

So viele Einschränkungen also auch die Zuverlässigkeit der akustischen und optischen Beobachtung hat, so vortrefflich wirken beide Beobachtungsverfahren zusammen. Auch Kroiss ist der

Ansicht, daß „das mit dem Auge gleichzeitig eingestellte Gehör die Absehfehler auf die Hälfte ihres Prozentsatzes vermindere, während drei Viertel der Hörfehler durch das eingeschaltete Auge verbessert würden“. Er stützt sich dabei auf statistische Untersuchungen von Neuert. Wenn wir also mit Gehör und Gesicht sprachliche Phänomene beobachten, so sind wir naturgemäß Täuschungen viel seltener ausgesetzt.

Endlich besitzen wir noch ein drittes subjektives Untersuchungsmittel: Das Getast[1]). Wenn wir das Wort „Baum“ nur mittels der Bewegungen der Sprechwerkzeuge, ohne die Stimme und ohne irgend ein Geräusch dabei hervorzurufen, ausführen, so wissen wir gleichwohl, das wir „Baum“ gesprochen haben, und zwar deswegen, weil wir die Berührung unserer Lippensäume wahrnehmen, weil wir die Unterkieferbewegung des *a* empfinden, weil wir die Vorstülpung der Lippen empfinden, und weil wir schließlich die Endberührung des Lippensaumes sowie das Nachlassen der Gaumensegelkontraktion wahrnehmen. Dieser gesamte Eindruck dabei ist offenbar zusammengesetzt aus Berührungsempfindungen, aus Lage-, Gelenk-, Druck- und Bewegungsempfindungen, kurz aus dem, was wir als „Muskelsinnempfindungen“ bezeichnen. Nun ist die Bewegungs- und Lageempfindung des Unterkiefers zwar außerordentlich fein, ebenso haben wir eine sehr feine Tastempfindung an der Zungenspitze und am Lippensaum; sehr gering ist sie bereits am Gaumen, wenngleich die Reflexerregbarkeit vom Gaumen aus recht groß ist. (Beide Erscheinungen haben eben offenbar nichts miteinander zu schaffen.) Unsere lokalisatorische Fähigkeit am Gaumen und am Rachen sowie am Kehlkopf ist bereits außerordentlich mangelhaft, wie das jeder Halsarzt tagtäglich erfährt. Dagegen ist die Fähigkeit der Kontrolle unserer Muskelspannungen doch wenigstens in einigen Teilen unseres Sprechapparats recht gut. Daß sie bei der Stimme eine sehr große Genauigkeit erreicht, haben wir früher gesehen. Auch die Zungen- und Mundbodenbewegung ist sehr genau abstufbar; denn die Pfeiftöne werden ja bekanntlich so gemacht, daß wir zwei Engen mit unserem Ansatzrohre herstellen, eine zwischen Zungenrücken und Gaumen und die zweite vorn am Lippensaum. Die verschiedenen Tonhöhen dieses so angeblasenen Hohlraumes werden dadurch erzeugt, daß der Zungen-

[1]) Das gewöhnlich hierbei gebrauchte Wort „Gefühl“ bleibt bei wissenschaftlichen Auseinandersetzungen wohl besser für die Gefühlstöne der Empfindungen und Vorstellungen vorbehalten.

rücken zugleich mit dem Mundboden steigt und fällt. Steigt er in die Höhe, so wird der Ton höher; fällt er, so wird er tiefer. Man brauchte nur die Genauigkeit festzustellen, mit der ein Pfeifton von einem Menschen gehalten werden kann, um festzustellen, wie genau er imstande ist, seine Mundbodenmuskulatur einschließlich der Zunge zu bewegen. Daß diese Genauigkeit der Muskelbewegung sehr groß ist, lehrt der einfache Versuch, eine Melodie zu pfeifen. Beobachtet man, während man dieses tut, die Muskelempfindung des Zungenrückens bzw. die verschiedenen Veränderungen der Berührungsfläche der Zunge mit den Seitenteilen des Mundes, so kann man sich von der Genauigkeit der Abstufungsmöglichkeiten überzeugen. Natürlich würde eine feinere Prüfung in ähnlicher Weise erfolgen müssen, wie Klünder, Hensen u. a. dies für die Genauigkeit der Stimme getan haben.

Wie gering gleichwohl sonst die Geschicklichkeit unserer Zunge und besonders der Rachenteile ist, das sieht man am besten, wenn man Sprachlaute nachahmen will, die aus uns weit abliegenden Sprachen stammen, z. B. arabische Kehllaute. Die Nachahmung der Kehlverschlüsse der semitischen Sprachen gelingt nur selten jemandem gleich von vornherein; meist erreicht er sie erst nach längerer Übung, und viele sind gar nicht dazu imstande, sie nachzuahmen. Mit dem Getast können wir aber in der Tat zunächst nur eine Beobachtung der sprachlichen Bewegungen anderer ausüben, wenn wir die von ihnen erzeugten Töne, so gut wie es geht, nachzuahmen versuchen.

Eine zweite Art, das Getast anzuwenden, besteht darin, daß man durch Betasten der Sprechwerkzeuge des zu untersuchenden Sprechers nicht nur die Bewegungen, sondern auch die Vibrationen feststellt. So ist es leicht, eine stärkere Vibration der Brust bei Bruststimme, und eine starke Resonanz des Kopfes bei der Falsettstimme wahrzunehmen. Leicht ist es auch, die Vibrationen der Nasenwände festzustellen, wenn Nasallaute ausgesprochen werden; gewisse Unterschiede des Akzentes kann man auch an der stärkeren oder geringeren Vibration mittels des tastenden Fingers wahrnehmen. Schwerer ist es bereits, Tonhöhenunterschiede auf diese Art aufzufassen. Versuche darüber sind zuerst von Gutzmann sen. angestellt worden. Am Gesichts- und Hirnschädel hat E. Hopmann Vibrationsbezirke feststellen können, die den einzelnen Vokalen

entsprachen. Zu ähnlichen Untersuchungen zog H. Stern Blinde heran, und Zimmermann konnte Hopmanns Ergebnisse bestätigen. Es sind das gerade die Gegenden, die gewöhnlich von physiologisch ungebildeten Gesangslehrern zum Beweise ihrer Resonanztheorien (z. B. Stirnhöhlenresonanz) [die Stirnhöhle resoniert, wenn vorhanden, etwa auf c^6 (K. L. Schaefer)] angeführt werden (siehe aber S. Rabotnow). Auch Giesswein stellt demgegenüber ausdrücklich fest, daß den Erschütterungen der Schädelknochen keinerlei Bedeutung als verstärkender Faktor zukomme. Die Fähigkeit, die Vibration einer Stimmgabel durch die tastende Haut wahrzunehmen, nennen wir mit einem nicht ganz einwandfreien Namen das „Vibrationsgefühl". Gutzmann sen. hat nun untersucht, in welchen Grenzen man imstande ist, die zeitliche Aufeinanderfolge der Vibrationen verschiedener Tonhöhe voneinander zu unterscheiden. Er ist nach längeren Versuchen, die aus verschiedenen Gründen nicht mit der wünschenswerten Feinheit der Abstufung durchgeführt werden konnten, doch zu dem Ergebnis gelangt, daß man einen ganzen Ton Vibrationsunterschied mit dem tastenden Finger sehr wohl unterscheiden kann. Wenn also eine Stimmgabel *A* und eine Stimmgabel *H* abwechselnd ihre Schwingungen mittels eines geeigneten Übertragungsmittels, beispielsweise mittels Luftübertragung, dem tastenden Finger zuleiteten, und bald der eine, bald der andere der zuleitenden Schläuche unterbrochen würde, so würde man feststellen können, daß die Vibration *A* von der Vibration *H* richtig unterschieden wird. Das hat natürlich Bedeutung für die Entwicklung der Sprache der Schwerhörigen und Taubstummen, ist aber auch nicht unwesentlich bei der Untersuchung sprachlicher Erscheinungen Hörender.

Auf die erwähnten drei subjektiven Untersuchungsmittel können wir uns also nur mit einer gewissen Beschränkung verlassen, und wir werden uns nicht wundern, wenn bei der alleinigen Anwendung dieser subjektiven Untersuchungsverfahren dem Phonetiker mannigfache Irrtümer unterlaufen. Immerhin sind diese Verfahren von einem ganz erstaunlichen Erfolge begleitet gewesen, denn selbst sehr genaue Nachprüfungen gewisser Bewegungsveränderungen und -stellungen des Ansatzrohres mittels objektiver Verfahren haben so oft die Richtigkeit der vorher durch subjektive Verfahren gewonnenen Ergebnisse gezeigt, daß man andererseits sich sehr wohl hüten soll, ihren Wert zu unterschätzen. Vor allen

Dingen zeigt es sich, daß individuell außerordentliche Unterschiede vorkommen. Wer z. B. je Gelegenheit gehabt hat, die ausgezeichnete Beobachtungs- und Nachahmungsfähigkeit unseres vortrefflichen Phonetikers Sievers zu bewundern, der wird zugestehen müssen, daß ein derartiger Untersucher erheblich weiter mit den einfachen subjektiven Verfahren kommen kann, als ein unvorsichtiger junger Phonetiker, der die graphischen Verfahren wahllos und ohne genügende Berücksichtigung der fälschenden Einflüsse anwendet. Es ist deshalb für den experimentellen Phonetiker unter allen Umständen zu empfehlen, daß er nicht allein sein Gehör, sondern auch sein Gesicht und sein Getast einer sorgsamen Schulung unterwirft. Er wird sich auf diese Weise Instrumente heranbilden, die in ihrer Feinheit Wunderbares zu leisten imstande sind und den großen Vorzug besitzen, daß er sie stets bei sich trägt. Wie man an sich selbst eine derartige phonetische Schulung vornehmen soll, hat Klinghardt in sehr hübscher Weise dargestellt; auch verweise ich auf die betreffenden Kapitel bei Rousselot, Jespersen u. a.

Wir dürfen aber nicht vergessen, einige Instrumente zu erwähnen, die zur Verfeinerung der subjektiven Untersuchungsverfahren der Sprechbewegungen dienen. Das Auge wird in der unmittelbaren Beobachtung nur wenig unterstützt werden können, höchstens durch ein Fernglas, wenn es sich darum handelt, weiter Abstehende in ihren sprachlichen Bewegungen zu verfolgen, was wir ja mit gutem Erfolg oft genug im Theater zu versuchen Gelegenheit haben. Harless verwandte zur Messung der äußeren Kehlkopfbewegungen ein Fernrohr mit Fadenkreuz und Meßskala. Dem Ohr können wir dagegen seine Aufgabe durch geeignete Instrumente sehr erleichtern. So ist die Benutzung des ärztlichen Stethoskops und Phonendoskops zur Beobachtung der verschiedenen Geräusche des Kehlkopfes oder der Klänge der eigentümlichen Vibrationsveränderungen, -verstärkungen, -abschwächungen an der Seite des Halses eine große Erleichterung. Gutzmann sen. pflegte gewöhnlich zu derartigen Auskultationen des Sprechapparates das kleine Schlauchstethoskop zu benutzen. Es ist überraschend festzustellen, wie selbst die geringsten Kehlkopfgeräusche, so besonders selbst der leiseste Glottisschlag, aber auch jedes Nebengeräusch (!) durch dieses Instrument gehört werden können, wenn man es auf den Schildknorpel seitlich aufsetzt. Vor der Benutzung des Mikrophons zur Verstärkung des Hörens gewisser Geräusche warnt

Gutzmann sen.; Versuche, die er damit selbst angestellt hat, zeigen, daß das Mikrophon auch andere, fremde, nicht zur Beobachtung gehörende Geräusche so sehr erheblich verstärkt — wenn es überhaupt so fein eingestellt ist, wie man es braucht —, daß man aus dem Wirrwarr der Geräusche das Richtige nicht mehr heraus erkennen kann. So gibt schon eine leichte Bewegung der Haut oder der Kleidung Geräusche.

Die Feinheit des Tastens kann kaum verstärkt werden; wenigstens ist bisher kein Instrument bekannt, das die Vibration auch in ihren Stärkeunterschieden so fein wiederzugeben imstande ist, wie wir sie selbst mittels der Kuppe unseres Zeigefingers empfinden.

b) Analyse der Sprechbewegung durch Aufzeichnungsvorrichtungen.

1. Akustische Aufzeichnung. Diese haben wir oben bereits genauer kennengelernt. In bezug auf das Ansatzrohr könnte nur noch nachgetragen werden, daß auch die Grenzen der Vibration durch akustische Registrierung festgestellt werden können. Hierbei kann in der Tat ein Mikrophon große Dienste leisten, wenn seine Konstruktion dem Zwecke einigermaßen angepaßt ist. Neuerdings hat H. Stern (Wien) ein Nasenhöhrrohr konstruiert und Fröschels verwendet zu dem gleichen Zweck einen Nasenkatheter. Die Aufzeichnung der Kehlkopfvibrationen geschieht, wie schon früher bemerkt, mit dem Krüger-Wirthschen Kehltonschreiber oder jenem von Panconcelli-Calzia, dem Marbeschen oder dem Gutzmann-Wethloschen Apparat, der den Vorzug der kleinsten Membran hat.

2. Optische Aufzeichnung. Die Verwendung der Photographie ist zuerst von Marey in Gemeinschaft mit Demeny im Jahre 1891 hierbei benutzt worden. Er ließ einen Satz langsam sprechen und nahm in dieser Zeit Photographien von der sprechenden Person auf. Reihte man diese Aufnahmen in derselben Weise in irgend einen stroboskopischen Apparat ein, so vermochten Taubstumme, die geübt waren, vom Munde abzulesen, die Wörter zu erkennen. Die Momentphotographie für das Herausphotographieren charakteristischer Sprachstellungen ist übrigens auch sonst oft benutzt worden, so hat sie besonders Felix Hément angewendet. Gutzmann sen. hat zahlreiche Versuche mit der Momentphotographie und auch mit der Serienphotographie gemacht. Es gelang ihm im Jahre 1895, eine Anzahl von Typen der äußerlich sicht-

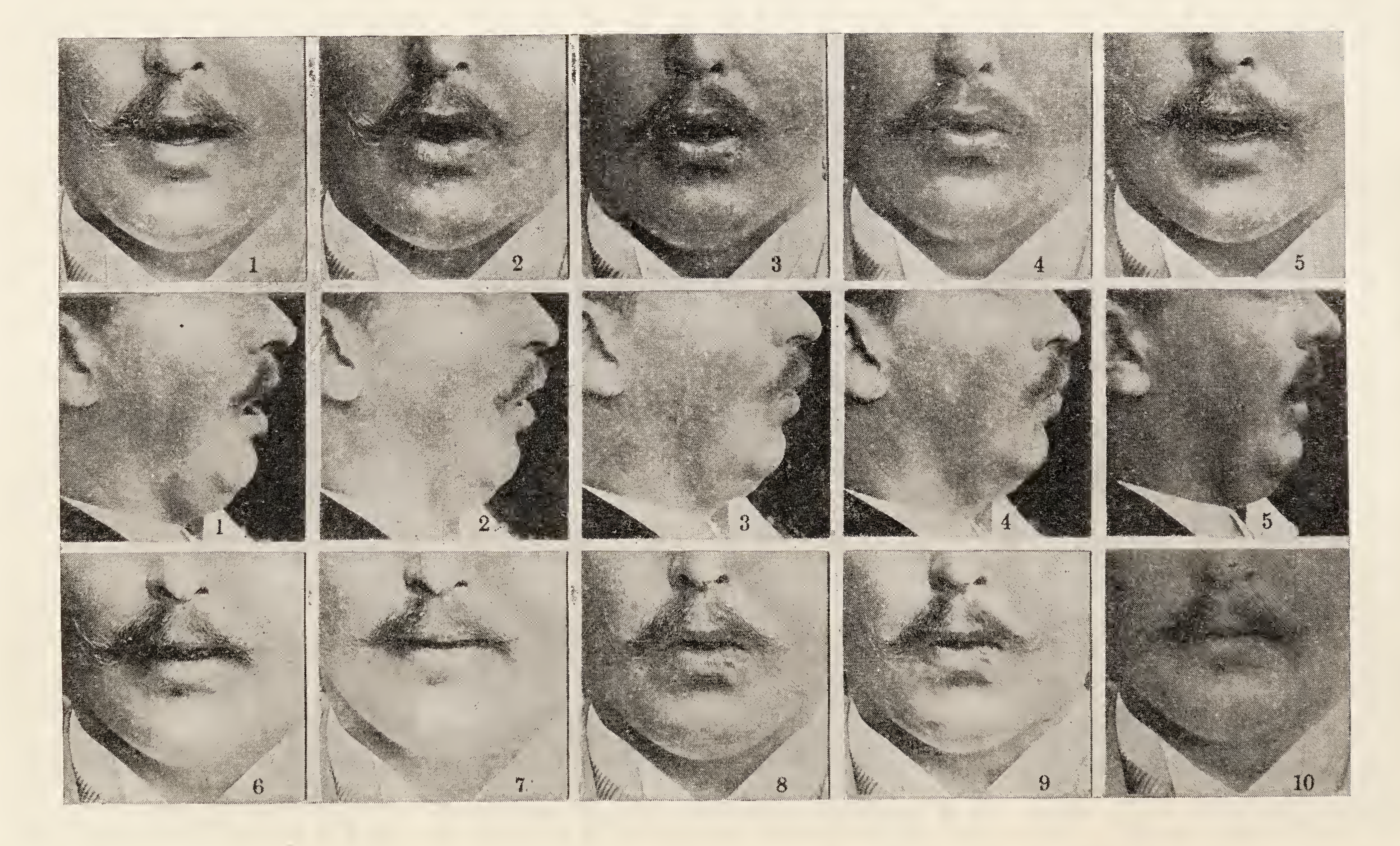
baren Stellungen des Ansatzrohres herzustellen, deren verschiedenartige Vereinigung in einem Stroboskop es gestattete, alle möglichen Wörter und kleine Sätzchen so zur Anschauung zu bringen, daß sie ein geübter Taubstummer ohne weiteres im Stroboskop ablesen konnte. Daß die Anzahl dieser Typen kleiner war als die Zahl der Buchstaben des Alphabets, geht schon aus den obigen Auseinandersetzungen (man sehe Abb. 69) hervor. Die hierbei folgenden Bilder mögen eine Anschauung von den gewonnenen Sprechtypen geben (siehe Abb. 70).

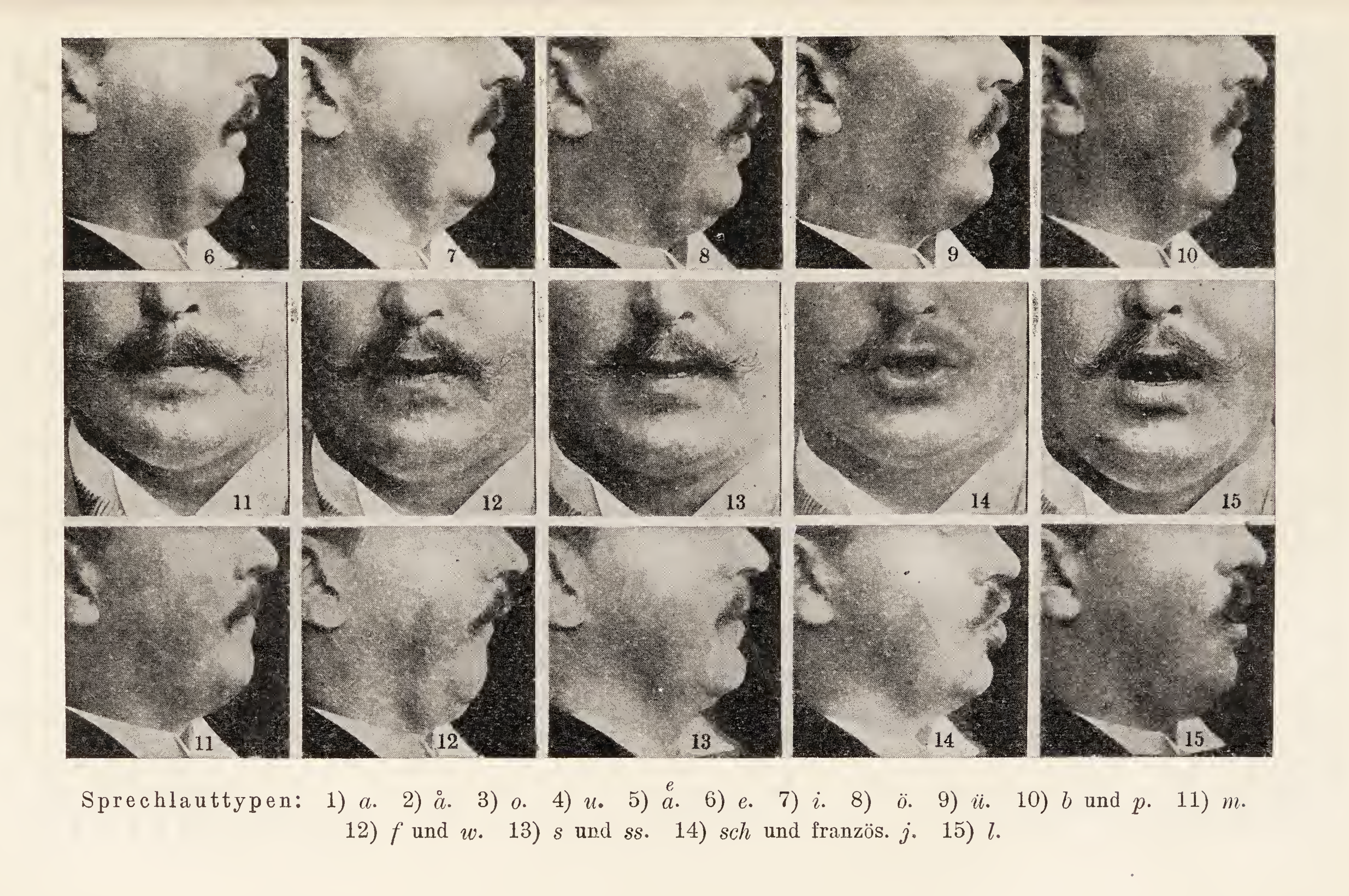
In neuester Zeit ist natürlich der Film zu diesem Zweck benutzt worden (Flatau).

Nach der Entdeckung der Röntgenstrahlen wurden sogleich auch diese benutzt, um die Stellungen und Bewegungen des Ansatzrohres zunächst zu beobachten, und Scheier hat am Röntgenschirm die Bewegungen der Zunge und des Gaumensegels richtig verfolgen können; später gelang es ihm, die Röntgenphotographie dazu zu verwerten. Daß die Scheierschen Beobachtungen zum Teil nicht bestätigt wurden (z. B. von Jespersen und Mygge), liegt wohl daran, daß diese Untersucher vorwiegend Stellungen auf dem Schirm zu sehen versuchten, während Scheier Bewegungen aufzufassen sich bemühte. Es ist aber stets viel leichter, eine Bewegung auf dem Schirm zu verfolgen als eine ruhende Stellung. So ist es, wie Gutzmann sen. sich sehr oft zu überzeugen Gelegenheit hatte, beim Sprechen der Vokale zum Beispiel sehr leicht, den bewegten Schatten des Gaumensegels auf den fluoreszierenden Schirm zu erkennen, während bei unbewegter Stellung das fast eine Unmöglichkeit ist; es kommt also ganz darauf an, wie man diese Versuche anstellt.

Zu einer besseren Verwertung der Röntgenuntersuchung gelangte E. A. Meyer durch die Photographie des Röntgenbildes. Er versuchte zunächst, die Mittellinie der Zunge deutlicher zu machen, indem er eine breiartige Mischung von Eisenpulver und Syndetikon auftrug, er erhielt aber keine genügenden Ergebnisse. Nach vielen Versuchen kam er zur Anwendung einer Kette aus Bleiplättchen, die etwa 4 mm lang, 1,5 mm breit und 0,6 mm dick waren. Sie wurden in der Weise hergestellt, daß ein etwa 1,3 mm breiter und 20 mm langer Streifen von dünn ausgewalztem Blei vier- bis fünfmal um zwei Seidenfäden herumgelegt und platt geschlagen wurde, so daß diese Plättchen nun an den Fäden fest saßen. Auf diese Weise entstand eine Kette von 12 bis 15 solcher Plättchen, die in Abständen von etwa 8 mm voneinander an den Fäden befestigt waren. Aus dem vorderen Ende ließ er die Fäden lang hängen, um ein Verschlucken des Fadens zu verhüten. Dieses Kettchen wurde nun auf die Mittellinie

Abb. 70.

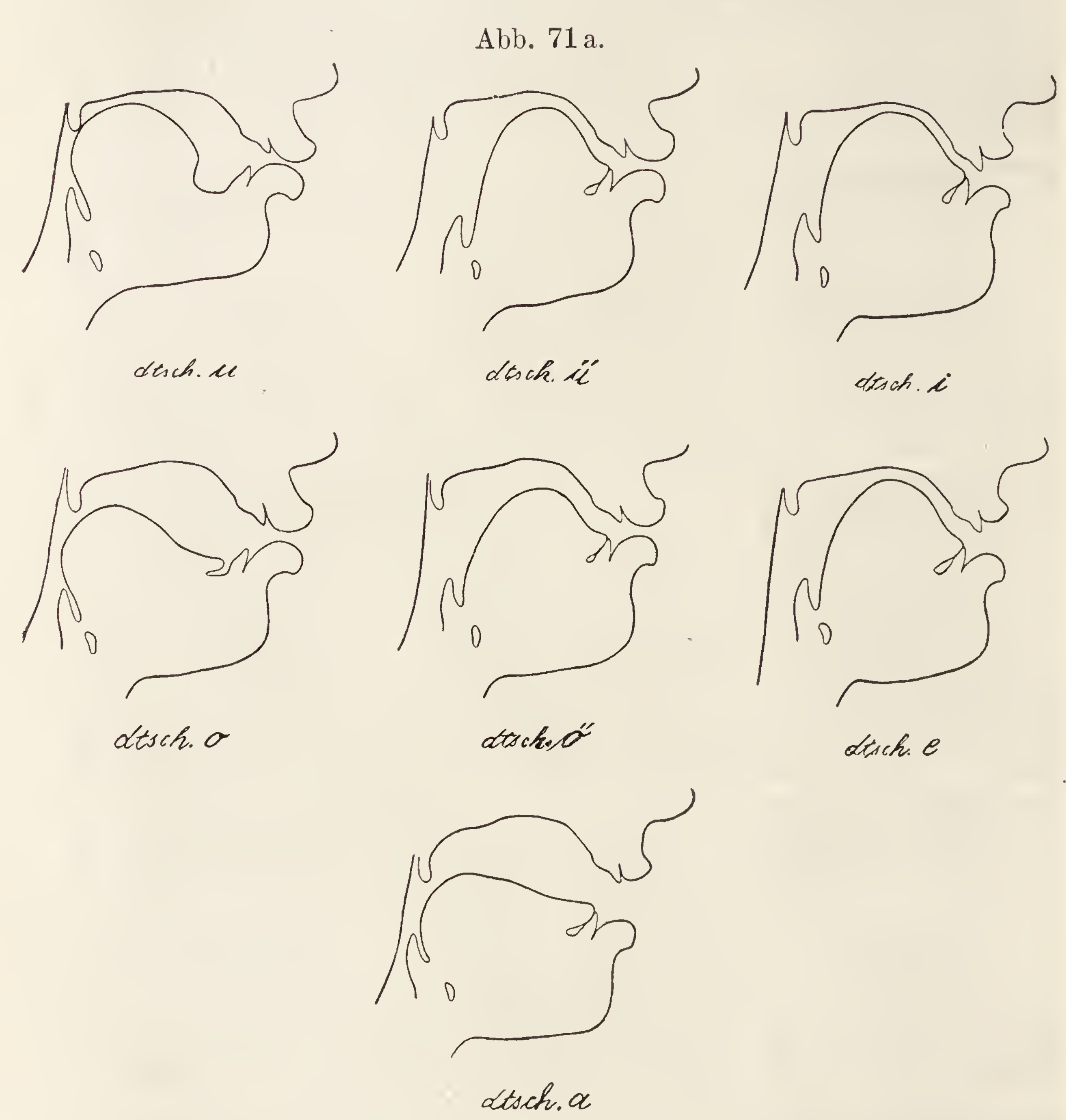




Sprechlauttypen: 1) *a*. 2) *å*. 3) *o*. 4) *u*. 5) *aͤ*. 6) *e*. 7) *i*. 8) *ö*. 9) *ü*. 10) *b* und *p*. 11) *m*. 12) *f* und *w*. 13) *s* und *ss*. 14) *sch* und französ. *j*. 15) *l*.

der Zunge gelegt und machte jede Bewegung der Zunge mit, ohne daß sich die Plättchen auf ihr verschoben. Um eine seitliche Verschiebung des Kettchens zu verhüten, wurde die Zunge noch in der Mittellinie mit reinem Syndetikon bestrichen. Das Gesamtgewicht der Kette betrug nur 0,5 g, das Gewicht der einzelnen Plättchen demnach 0,05 g. Daß ein derartig geringes Gewicht die Zungenmuskulatur nur wenig behindert, liegt auf der Hand. Die Profillinie des Gaumens verstärkte E. A. Meyer, indem er einen

Abb. 71a.



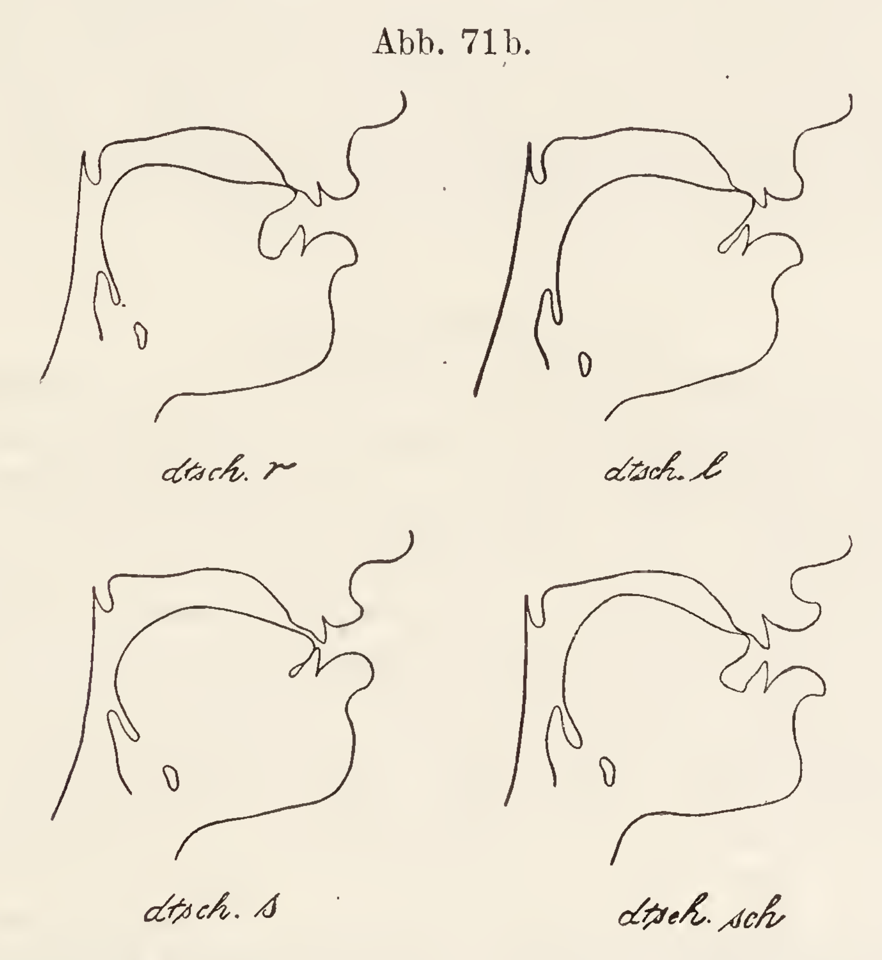
Lautbilder für die Vokale *u*, *ü*, *i*, *o*, *ö*, *e*, *a* in norddeutscher Aussprache.

schmalen Streifen von Heftpflaster an den Gaumen klebte. Auf dem Streifen waren in Abständen von etwa 10 mm ähnliche Bleiplättchen wie bei der Zungenkette mittels Guttapercha befestigt. Auch hier waren die einzelnen Plättchen durch Seidenfäden miteinander verbunden. E. A. Meyer behauptet, daß sich der Heftpflasterstreifen dicht an den Gaumen anschließt und bei richtiger Anlegung den Sprechenden durchaus nicht stört. Die so von E. A. Meyer gewonnenen Photographien sind klar und deutlich. Auf Grund seiner Röntgenbilder hat er Artikulationsrisse für die langen Vokale

u, *y* (= *ü*), *i*, *o*, *ö*, *e*, *a* und für die Konsonanten *s*, *sch*, *l*, *r* seiner Aussprache in der im Literaturverzeichnis angegebenen Arbeit mitgeteilt. Diese Risse sind sehr nützlich, um die Form der durch die Artikulation bedingten Resonanzhöhlen zur klaren Anschauung zu bringen. Die hier beigegebenen Abb. 71a und 71b erklären sich von selbst.

Grunmach und E. Barth haben in ähnlicher Weise wie E. A. Meyer die Röntgographie zur Untersuchung gesprochener und besonders gesungener Laute benutzt. E. Barth legte dazu ein Kettchen in die Mittellinie der Zunge, dessen Lage er dadurch fixierte, daß er an das hintere Ende desselben eine kleine Kugel anbrachte und diese seitlich vom Kehlkopf in einen Sinus pyriformis steckte. Auf diese Weise wurde das Kettchen,

Abb. 71b.



Lautbilder für die Konsonanten *r*, *l*, *s*, *sch* in norddeutscher Aussprache.

dessen anderes Ende zum Munde vorn heraus hing, straff gezogen. Auch die Lage des Gaumensegels suchte E. Barth sichtbar zu machen durch ein ähnliches Metallkettchen, aber ohne Kugel, das er durch die Nase hindurch auf die Oberfläche des Gaumens legte.

E. A. Meyer wendete gegen das E. Barthsche Verfahren ein, daß die massive Metallkette gewöhnlich brückenartig die eventuell bei der Zunge entstehenden beiden Hebungen überspannt, so daß die dazwischen liegende Senkung in der Lagerung der Kette nicht zum Ausdruck kommt und ein zum Teil falsches Artikulationsbild zustande bringt. Er ist der Meinung, sowohl sein Zungenkettchen wie der Gaumenstreifen habe gegenüber dem E. Barthschen Verfahren Vorzüge. Mit zunehmender Verbesserung der Aufnahmetechnik sind die soeben geschilderten Hilfsmittel überflüssig geworden.

Die Röntgenphotographie wurde auch von L. P. Eijkman zur Fixierung der phonischen wie der Schluckbewegungen des Kehlkopfes verwandt. Eijkman studierte auf diese Weise die Stellungen des Kehlkopfes bei den verschiedenen Tonhöhen und Vokalen (Vox 1914). Endlich haben, wie schon oben einmal erwähnt, J. Möller und Fischer zum Studium der Unterschiede der Brust- und Falsettstimme die Röntgographie verwandt. Daß das Röntgenverfahren auch zur Untersuchung der Vorgänge im Kehlkopf und im Ansatzrohr beim Singen von großem Wert ist, leuchtet ohne weiteres ein.

Fröschels hat in ähnlicher Weise, zusammen mit Haudek, die Zungen- und Gaumensegelbewegungen photographiert. Um die Weichteile bei der Durchleuchtung sichtbar zu machen, bestrichen sie die Mittellinie der Zunge und anfangs auch des Gaumens und Gaumensegels mit einem dünnen Strich Wismutbrei. Die photographische Wiedergabe ist ausgezeichnet. Leider wird nicht ausdrücklich betont, daß die Bilder nicht retuschiert worden sind. Durch eine Retusche würde natürlich der Wert der Aufnahmen für die Forschung bedeutend herabgemindert.

3. Direkte Meßverfahren.

Diese sind mehrfach angewendet worden, so von Grandgent, der die Entfernung einzelner Punkte der Zunge und des weichen Gaumens von einem anderen festen Punkte mittels in den Mund eingeführter Maßstäbe zu bestimmen suchte. Auf Grund dieser Messungen zeichnete er dann Sagittaldurchschnitte durch die Mundhöhle. E. A. Meyer macht mit Recht den Einwand, es sei unmöglich, ohne starke Behinderung des Sprechenden bei Lauten mit größerer Vorderzungenbewegung derartig große Maßstäbe in den Mund einzuführen. Deswegen hat H. W. Atkinson einen Meßapparat hergestellt, der aus einem gebogenen, in einer schmalen Hülse verschiebbaren Stahldraht besteht. Diese Hülse kann durch einfache Vorrichtung verschieden hoch an die oberen Schneidezähne und den Zahndamm angelegt werden. Dann wird der Stahldraht so weit aus der Hülse geschoben, bis er die in die Stellung für einen bestimmten Laut gebrachte Zunge berührt. Sodann wird der Apparat an einen Profilriß des durch einen plastischen Abdruck gewonnenen harten Gaumens in genau entsprechender Weise angelegt und der Endpunkt des Stahldrahtes sodann abgetragen. So werden nacheinander verschiedene Punkte der Zunge und des weichen Gaumens bestimmt, auf der Zeichnung festgelegt, miteinander verbunden und geben schließlich ein Bild von der Gestalt des Ansatzrohres bei der Artikulation eines bestimmten Lautes.

In ähnlicher Weise verfuhr F. Stolze, der einen festen Bügel an die Mittellinie des Gaumens legte und an einem beweglichen Bügel die Berührungsstellen der Zungenmittellinie bestimmte.

Alle derartigen Meßverfahren, die darauf beruhen, daß man Instrumente in das Innere des Mundes führt, sind mehr oder weniger mißlich. Sowie man über den „Zaun der Zähne“ in das Innere gelangt, ist man den Einflüssen der Reflexe, die selbst

bei gut eingeübten Versuchspersonen mehr oder weniger hindern können, ausgesetzt, und trotz der geringen Gewichte, die beispielsweise die Bleikettchen E. A. Meyers und E. Barths haben, ist diese reflektorische Beeinflussung nicht ganz auszuschalten. Dies gilt auch für alle folgenden noch zu besprechenden Instrumente und Versuchsanordnungen, z. B. Rousselots „Ampoules".

Zur Auswertung der auf irgend eine Art gewonnenen Palatogramme verwendet Panconcelli-Calzia mit Vorteil die sogenannte Palatogrammetrie. Er mißt mit einem Planimeter unmittelbar die Berührungsflächen am künstlichen Gaumen und kann nun die gefundenen Zahlen miteinander vergleichen bzw. in Kurven darstellen. Das Verfahren dient nur dazu, wie auch Calzia selber betont, die Ergebnisse eines Palatogramms leichter bearbeiten zu können. Mit der Genauigkeit des Palatogramms und dem wichtigen Verhältnis zur Gaumenform hat es nichts zu tun.

a) Anwendung der Aufzeichnung auf die einzelnen Bewegungen.

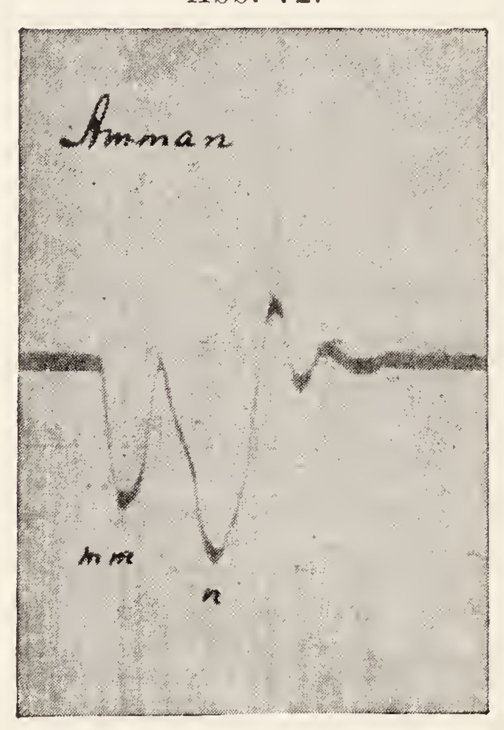
1. Luftbewegung bei der Artikulation. Die für die Aufnahme der Atmung nötigen Apparate wurden bereits früher besprochen. Es mag hervorgehoben sein, daß zur Aufzeichnung des Luftdrucks beim Sprechen auch für die Untersuchung der einzelnen Laute, d. h. Funktion des Ansatzrohres, der Atemvolumschreiber sehr gute Dienste leistet, besonders wenn man ihn so einrichten läßt, daß er kleine Luftmengen mit großen in Gradschreibung gegebenen Kurven aufzeichnet (Gutzmann-Wethlo und Calzia-Schneider).

Ferner sind bei diesen Untersuchungen die Eigenschwingung des Apparats und der Einfluß des Trägheitswiderstands zu berücksichtigen, worauf Nadoleczny hingewiesen hat. Für die meisten Untersuchungen ist allerdings eine Berechnung dieser Abweichungen nicht erforderlich. Es genügt, sie zu kennen, um ihr Auftreten in den Kurven richtig deuten zu können.

Ein anderes Verfahren, die Strömungsgeschwindigkeit und daraus indirekt das Atemvolumen zu bestimmen, hat Zwaardemaker beschrieben. Er benutzte 1. eine innerhalb eines senkrechten Glasrohres zwischen zwei Metallfedern aufgehängte Aluminiumscheibe, die dem Luftstrom in ausgibigem Maße folgt (federnde Windfahne). Wenn der Apparat zuvor mit Hilfe einer Gasuhr empirisch geeicht worden ist, so läßt sich aus den Ausschlägen der Scheibe die Geschwindigkeit des Luftstromes in den einander folgenden Momenten entnehmen (Aerodromometer); 2. eine photographische Kammer, in der durch einen genau gearbeiteten,

durch leichte Räder über Schienen geführten Schlitten eine empfindliche Platte hinter einer feinen Metallspalte vorbeigeführt wird. Bei der Aufstellung der Apparate steht das Aerodromometer unmittelbar vor dem Spalt, und im Schein einer starken Lichtquelle (aus einer Entfernung von $^1/_2$ bis 2 m) wirft die Windfahne einen scharfen punktförmigen Schatten auf die empfindliche Platte. Wenn die Windfahne während des Versuchs auf und ab geht, folgt ihr der Schatten und zeichnet eine Kurve auf der vorübergeführten empfindlichen Platte. Die Abb. 72 und 73 geben die Aufzeichnungen des Wortes „Amman", einmal in Umgangssprache, das andere Mal zweimal wiederholt in Flüstersprache. Das „Aerodromometer" war mit der rechten Nasenöffnung der Versuchsperson verbunden. Der dicke wagerechte Strich entspricht dem Ruhestande der Windfahne, die zwei Täler den nasalen Ausschlägen, also das erste dem Doppel-*m*, das zweite dem *n*. Die Luftmasse ist deutlich verschieden groß; man kann sie genau messen, wenn man die Abszissen der Talwellen in Millimeter teilt und mit einer einfachen Millimeterskala bei jedem Teilstrich die Ordinatenhöhe bestimmt. Aus diesen Zahlen wird der Durchschnitt berechnet, und die Eichungstabelle gibt die dieser Zahl entsprechende Strömungsgeschwindigkeit an. Die mittlere Strömungsgeschwindigkeit, multipliziert mit der Dauer der Talwelle, ergibt ohne weiteres die ausgeströmte Luftmenge. In dem hier abgebildeten Falle bewegte sich die Platte mit einer Geschwindigkeit von 15 mm pro Sekunde. Beim laut gesprochenen „Amman" betrug die Ausströmung der Luft für die erste und zweite Talwelle 0,33 und 0,50 Sekunden, beim ersten, geflüstert gesprochenen „Amman" 0,27 und 0,53 Sekunden, beim zweiten 0,27 und 0,47 Sekunden. Die ausfließende Luftmenge betrug bei dem laut gesprochenen 7 bzw. 12 ccm, bei dem ersten flüsternd gesprochenen 11 bzw. 19 ccm, beim zweiten 10 bzw. 15 ccm. Zwaardemaker macht bei dieser Gelegenheit darauf aufmerksam, daß zwischen der Menge bzw. der Geschwindigkeit der ausgeströmten Luft und der Tragkraft der Stimme bei diesem Versuch offenbar gar keine Beziehung besteht. Wie die Kontrollversuche ergeben, folgt die Windfahne den Bewegungsrichtungen des Luftstromes in ausgezeichneter Weise, so daß diese Zwaardemakersche Anordnung, wie Gutzmann sen. sich in eigenen vielfachen Untersuchungen überzeugt hat, recht gut mit Erfolg verwendet werden kann.

Abb. 72.

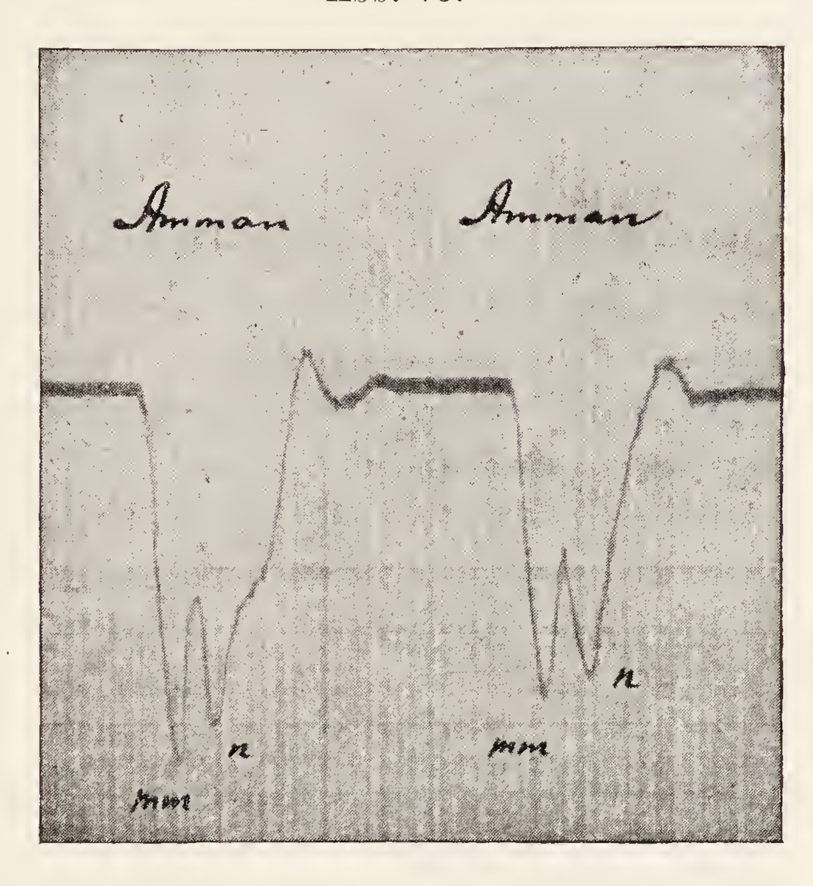


2. Kehlkopfbewegungen. Wenn wir nun das Ansatzrohr von seiner untersten bis zur obersten Stelle hin durchgehen und die einzelnen Teile auf ihre Registriermöglichkeit untersuchen, so beginnen wir naturgemäß wieder mit dem Kehlkopf selbst. Die

Bewegungen des Kehlkopfes sind in verschiedener Weise graphisch darzustellen.

Wir besitzen eine größere Zahl von Laryngographen, unter denen die von Piltan, von Rousselot, von Zünd-Burguet, von v. Krzywicki nur kurz erwähnt sein mögen. Gutzmann sen. selbst hat sich in einer Reihe von Arbeiten der Brondgeestschen Kapsel bedient, die er mit ihrer ausgebuchteten Kautschuckfläche schräg dem Schildknorpel gegenüber durch ein Halsband festhielt. Die Bewegungen, die der Adamsapfel nach oben und nach unten macht, übertragen sich in entsprechender Weise auf die ausgebauchte Brondgeestsche Kapsel und werden von hier durch Luftübertragung auf eine Schreibkapsel übermittelt. Allerdings werden auf diese Weise in der gleichen Kurve auch die Vor- und Rückwärtsbewegungen des Kehlkopfes aufgezeichnet; diese sind aber in der Regel gering.

Abb. 73.



Die vollkommensten Apparate für die Aufnahme der Kehlkopfbewegungen stammen von Zwaardemaker und von Gutzmann sen. Zwaardemaker zeichnet mit seinem Apparat sowohl die senkrechte wie die wagerechte Bewegung des Kehlkopfes getrennt auf. Die senkrechte wird mittels eines auf dem Schildknorpel ruhenden Konus auf eine mit Gummimembran überzogene Kapsel (*a*) übertragen, während die wagerechte Bewegung von einer in den den Konus tragenden Hebelarm mittels zweier Federn eingeschalteten Kapsel übertragen wird (*b*). Nach Nadoleczny zeichnet der Apparat Vor- und Rückwärtsbewegungen innerhalb eines Spielraums von 1 bis 3 mm, Auf- und Abwärtsbewegungen von 10 bis 15 mm über und unter der Ruhelage annähernd richtig. Ferner hat er verschiedene Möglichkeiten aufgezeigt, aus denen — nicht nur bei Zwaardemakers Apparat, wie Nadoleczny sagt — allerlei Fehler entstehen können. Wenn die Pelotte, die ja nicht auf dem Schildknorpel unmittelbar sitzt, sondern auf der äußeren, darüber liegenden und leicht verschieb-

lichen Haut, bei einer plötzlichen Aufwärts- (oder auch Abwärts)-bewegung des Kehlkopfes abgleitet, so ist das noch ein leicht feststellbarer Fehler. Es kommt aber nicht selten vor, daß diese Bewegung langsam stattfindet. Wir haben dann in der Aufzeich-

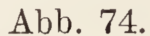
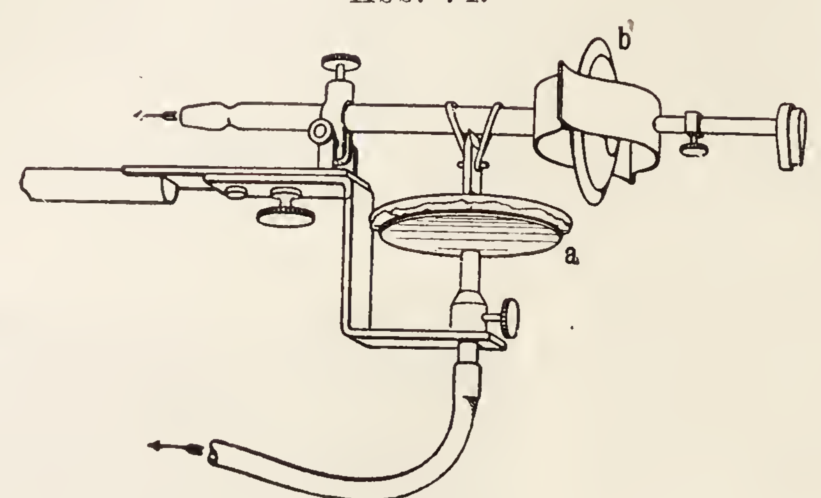
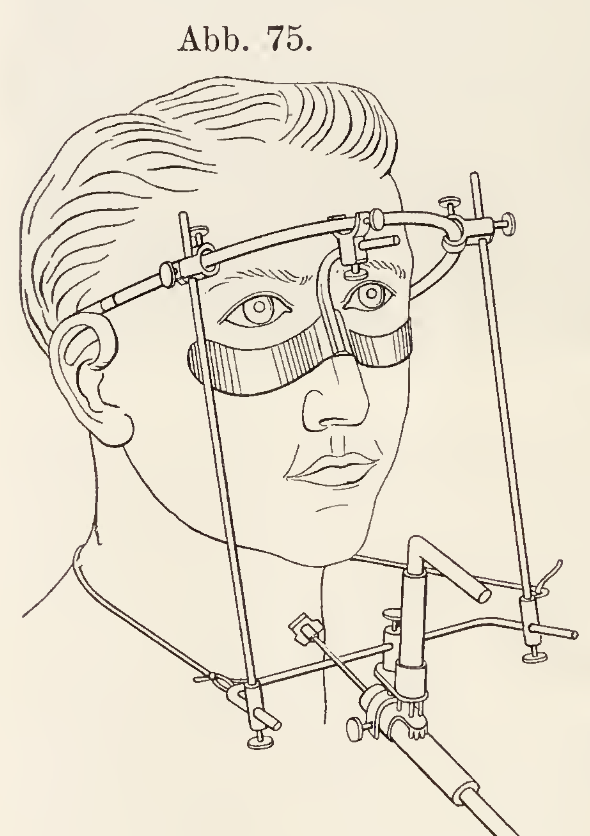


Abb. 74.



nung keine steile „Abgleitkurve“ mehr vor uns, sondern eine schräge „Vorbeigleitkurve“. Dazu kommt ein verschiedenes anatomisches Verhalten der einzelnen Versuchspersonen. Auch die Artikulationsbewegungen können zu Fehlerquellen werden (Flatau und Gutzmann sen.). Schließlich können sich noch Fehler in der Apparatur hinzugesellen. Namentlich bei lange gehaltenen Tönen werden die laryngographischen Kurven durch unvermeidliche Undichtigkeiten der Aufnahmeapparate beeinflußt (Heinitz, Vox 1919, S. 159). Die Abb. 74 zeigt die Anordnung dieses Apparats deutlich. Der Laryngograph von Gutzmann sen. (siehe Abb. 75) zeichnet sich durch große Leichtigkeit aus. Die auf- und niedergehenden sowie die nach vorn und hinten gehenden Bewegungen des Kehlkopfes werden gleichzeitig aufgenommen. Ein großer Vorzug ist der Wegfall von Kapseln mit Gummimembranen mit ihren Übelständen. Äußerst leicht bewegliche und dichtgehende Kölbchen erzeugen die Luftverdichtungen, welche die Kehlkopfbewegungen auf Schreibkapseln übertragen.

Abb. 75.



Überzieht man den hohlen kleinen Konus mit einer Gummimembran, und verbindet man mit einem genügend weiten Rohr den Hohlraum der so entstehenden kleinen Kapsel mit einem Kehltonschreiber — Krüger-Wirth, Gutzmann-Wethlo oder Calzia-Schneider — die kleinste Kapsel ist die beste —, so kann man gleichzeitig mit den Bewegungen des Kehlkopfes auch die Stimme aufschreiben.

Es ist nicht unwesentlich, die mehr oder weniger große Genauigkeit der so die Kehlkopfbewegung aufschreibenden Apparate auch gleichzeitig durch die einfachen Untersuchungsmittel, durch das Gesicht und das Getast, zu kontrollieren. Die Kontrolle durch das Auge, die Inspektion, läßt sich beim Manne sehr leicht ausüben, wenn man den Schatten des Kehlkopfes beim Sprechen verfolgt. Daß man damit sehr wichtige Ergebnisse erzielen kann, hat Garcia bewiesen, der in dieser Weise die Kehlkopfstellungen genau beobachtete, die hohe Lage des Kehlkopfes beim hellen Timbre, die tiefe Lage desselben beim dunkeln Timbre feststellte und anderes mehr. Gutzmann sen. hat zur besseren Ausführung der Betrachtung eine Verbindung mit objektiver Messung erstrebt, indem er den Ruhestand des Schildknorpels mittels eines dermatographischen Stiftes mit einem kleinen wagerechten Strich vorn am Halse bezeichnete und von diesem Nullstriche aus nach oben und nach unten in 5 mm Abstand kleine Striche anbrachte. Wenn man so verfährt und dafür sorgt, daß durch einen Spiegel Licht schräg von unten her gegen den Kehlkopf reflektiert wird, so daß der leicht hervortretende Schildknorpel (Adamsapfel) einen mehr oder weniger scharfen Schatten nach oben wirft, so vermag man mit dem bloßen Auge den Bewegungen dieses Knorpels leicht zu folgen und gleichzeitig, ohne daß man die Hand an den Kehlkopf zu legen braucht, das Maß der Bewegung festzustellen, allerdings nur mit einer Genauigkeit von etwa 5 mm.

Auch das Betasten, die Palpation des Kehlkopfes, ist sehr gut für phonetische Untersuchungen zu verwerten; nur darf man diese Palpationen nicht einfach so ausführen, daß man die Fingerkuppe in den oberen Einschnitt des Schildknorpels hineindrückt, weil man auf diese Weise sowohl den Kehlkopf aus der Lage drängt, als auch selbst keinen Stützpunkt für das „Fühlen“ gewinnt. Nach vielfachen Versuchen ist Gutzmann sen. dazu gekommen, zwei Verfahren für die Palpation des Kehlkopfes vorzuschlagen: a) Man legt die Beere des Zeigefingers der oberen Einkerbung des Schildknorpels leicht auf, während die übrige Hand

auf eine von einem festen, eisernen Gestell ausgehende Unterlage gestützt wird. Läßt man den Finger nun passiv seiner Schwere nach auf jener Knorpeleinkerbung ruhen, so wird er mit dem Schildknorpel gehoben oder gesenkt.

Diese Bewegungen werden entweder im ersten Fingergelenk (Phalangealgelenk) oder im Mittelhandfingergelenk (Metacarpo-Phalangealgelenk) oder auch in beiden gespürt. Im Mittelhandfingergelenk beträgt der Schwellenwert der Gelenkempfindungen 0,3 bis 0,4°. Wenn der Zeigefinger eine ungefähre Länge von 10 cm hat, so würde der Umfang des Kreises, in dessen Peripherie sich die Spitze des Fingers bewegt, $20\,\pi$, d. h. 20×22 cm sein. Dieser Umfang entspricht 360°, daraus folgt, daß 1 cm der Bewegung um ungefähr 6°, 1 mm also ungefähr 0,6° entspricht.

Man kann demnach, da bei 1 mm die untere Grenze der Unterschiedsempfindlichkeit für die Bewegung noch nicht erreicht wird, sagen, daß bei dieser Art der Betastung 1 mm Kehlkopfbewegung noch sicher wahrgenommen wird, wenn man bei fixierter Hand mit dem Mittelhandfingergelenk des Zeigefingers palpiert. b) Andererseits kann man die Betastung auch ausführen, wenn man von hinten her die inneren Fingerflächen der leicht gekrümmten Hand auf die Vorderfläche des Halses legt, so daß der Außenrand des Zeigefingers ungefähr am Unterkieferhalswinkel des zu Untersuchenden sich befindet, d. h. an einer Stelle, wo der Unterkiefer in seinen sprachlichen Bewegungen nicht gehindert wird. Dann fühlt man den Schildknorpel über die tastende volare Fingerfläche bei seinen Bewegungen nach auf- und abwärts hinweggleiten und hat den Vorzug, daß man acht wohl unterscheidbare Marken für dieses Gleitgefühl besitzt, nämlich je zwei Ränder der vier Finger. Man kann so zweifellos bei ruhiger Untersuchung genau unterscheiden, ob sich der Schildknorpel mehr am unteren oder mehr am oberen Rande der Innenfläche des fünften, vierten, dritten bzw. zweiten Fingers befindet.

Macht man die Untersuchungen der Kehlkopfbewegung nun sowohl durch Betrachtung wie Betastung und vergleicht die so gewonnenen Ergebnisse miteinander, so werden hierbei gewöhnlich wenig Unterschiede vorkommen; gewöhnlich, nicht immer. Denn es gibt Personen, die auch schon durch die Betastung in ihren Bewegungen beeinflußt werden. Vergleicht man aber die so gewonnenen Ergebnisse mit der graphischen Untersuchung z. B. durch den Zwaardemakerschen Apparat, so erkennt man, daß der Apparat den Bewegungen des Kehlkopfes durchaus nicht überallhin folgt, besonders ausgedehntere Bewegungen werden von ihm

nicht richtig angegeben („Abgleitkurven“, „Vorbeigleitkurven“). Man sieht auch hier, daß die subjektiven Verfahren immer wieder herangezogen werden müssen, um Untersuchungsergebnisse zu überprüfen.

Die größten Bewegungsbreiten des Kehlkopfes liegen in der lotrechten Richtung, die sagittale Bewegung nach vorn und hinten ist selbst bei starken Bewegungen des ganzen Organs meist nur gering.

Bei der Ruheatmung ist gewöhnlich die Bewegung des Kehlkopfes in beiden Richtungen nahezu gleich Null. Bei tiefer Ein- bzw. Ausatmung sinkt bzw. steigt der Kehlkopf merklich; hierzu bemerkt Nadoleczny, daß außerdem noch unwillkürliche Körperbewegungen dabei die laryngographische Kurve beeinflussen.

Art, Höhe und Stärke der Stimmeinsätze haben, wenn man die Prüfung ohne Artikulationsbewegungen vornimmt, in der gewöhnlichen Sprechtonhöhe und -stärke nur geringen Einfluß auf die Kehlkopfstellung.

Nadoleczny dagegen kommt auf Grund seiner sehr sorgfältigen Messungen bei gesummten Tönen (unter Ausschluß der Artikulationsbewegungen) zu anderen Ergebnissen, die einen besonderen Wert erlangen dadurch, daß sie an zahlreichen Versuchspersonen gewonnen wurden. Danach „ändert der Kehlkopf am häufigsten seine Stellung entsprechend der Tonhöhe“. Er stellte ferner Natursänger und Schüler einerseits der Gruppe der Kunstsänger andererseits gegenüber. Dabei ergaben sich im allgemeinen bei letzteren geringere Bewegungen. Die größte Aufwärtsbewegung aber fiel fast ausschließlich auch mit dem höchsten Ton zusammen. Die Bewegungsrichtung des Kehlkopfes zeigt bei hohen Tönen nach oben und vorn. Auffällig ist hierbei der Unterschied zwischen der Größe der Ein- und Abstellbewegung. Die Abstellbewegung zur Ruhelage ist häufig geringer, als die Einstellbewegung von der Ruhelage zur jeweiligen Funktionslage. „Während der Stimmgebung bleibt der Kehlkopf nämlich nicht ruhig stehen, sondern er verändert seine Lage unter dem Einfluß der Stimmstärke und der phonatorischen Ausatmung, während der er aufsteigt“ (Nadoleczny).

Die Abstellbewegung kann aber auch zunächst die Ruhelage überschreiten, bevor sie zu dieser zurückkehrt. Nadoleczny hat seine Ergebnisse in einer Tabelle zusammengestellt, die ich hierunter wiedergebe.

Tabe[lle]

Absolute Werte (in mm) der laryngographischen Kurv[en]

(E = Einstellbewegu[ng]

Nr.	Stimmart, gesummte Töne		Tiefer Ton		Mittlerer
			E	A	E
2001	Mezzosopran, Naturstimme	$a\,a^1\,a^2$.	3 auf, 2 vor	5 ab, 2 zurück	10 auf, 5 v
2002	„ „	$a\,a^1\,a^2$.	wenig ab, vor	undeutlich	3 auf, 2 v
614	Bariton, „	$E\,f$ . .	3 ab, 2 vor	3 auf, 2 zurück	7 auf, 5 v
1004	„ „	$F\,f\,f^1$.	1 ab, 2 zurück	1 auf, 2 vor	1 auf, 4 v
1015	Tenor, Frauenimitator	$A\,a$ . .	2 ab, 2 vor	undeutlich	12 auf, 5 v
1006	Bariton, Schüler	$F\,f\,f^1$.	5 ab, 3 zurück	5 auf, 3 vor	3 auf, 2 v
177/14	„ „	$F\,f\,f^1$.	5 ab, 3 zurück	2 auf, 2 vor	3 auf, 3 v
1014	„ „	$F\,f\,f^1$.	1 ab, 1 vor	1 auf, 1 zurück	4 auf, 4 v
1003	Baß, „	$E\,e\,e^1$.	3 ab, 2 vor	3 auf, 2 zurück	7 auf, 4 v
92/15	Tenor, „	$A\,a\,a^1$.	1,5 ab, 2 zurück	1 auf, 1 zurück	1 auf, 2,5 v
60/18	Sopran, Schülerin	$a\,a^1\,a^2$.	1,5 ab, 1 vor	1,5 auf, 0,5 zur.	1,5 auf, 0,5 v
1008	„ ausgeb. Dilettant.	$a\,a^1\,a^2$.	3 ab, 2 vor	3 auf, 2 zurück	4 auf, 2 v
560/13	„ Schülerin	$a\,a^1\,a^2$.	1 ab, 1 zurück	1 auf, 1 vor	1 auf, 1 v
158/18	Alt, „	$a\,a^1\,a^2$.	2 ab, 1 vor	2 auf, 1 zurück	1,5 auf, 1,5 v
430/18	„ „	$f\,f^1\,f^2$.	4,5 ab, 3,5 vor	3 auf, 1,5 zur.	5 auf, 1,5 v
22/14	Konzertsopran	$a\,a^1\,a^2$.	wenig ab, vor	1,5 auf, 1,5 zur.	1 auf, 2 vo
1027	„	$a\,a^1\,a^2$.	1 ab, 1 vor	2 auf, 1 zurück	1 ab, 1 vo
604	Mezzosopran, ausgeb. Dilett.	$a\,a^1\,a^2$.	1 ab, 1 vor	1 auf, 1 zurück	1 auf, 1 vo
1005	Konzertalt	$f\,f^1\,f^2$.	4 ab, 1 vor	4 auf, 1 zurück	10 auf, 3,5 v
192/10	Konzertbariton	$F\,f\,f^1$.	1 ab, 2 vor	1 auf, 2 zurück	1 auf, 2 vo
327	Konzerttenor	$A\,a\,a^1$.	2 ab, 3 vor	2,5 auf, 2 zur.	2 ab, 2 vor
289/10	Bühnentenor, lyrisch	$A\,a\,a^1$.	2 ab, 1 vor	1 auf, 1 zurück	2 auf, 1,5 vo

*) Mit freundlicher Erlaubnis des Verlages Julius Springer, Berlin, dem Wer[k]

Energische Artikulationsbewegungen ohne Lautgebung, wie Öffnungsbewegungen des Mundes, Bewegungen des Unterkiefers nach vorn und hinten, Zungenbewegungen usw., üben einen merklichen Einfluß auf den Kehlkopfstand aus. Der Kehlkopf wird dabei rein passiv von den Artikulationsorganen mitbewegt.

Die Vokale haben einen geringeren Einfluß auf die Stellung des Kehlkopfes. Die Veränderungen des Kehlkopfstandes geschehen in derselben Richtung wie die zur Aussprache der einzelnen Vokale notwendigen Artikulationsbewegungen, bei *i* und *e* nach

3*).

ür Kehlkopfbewegungen bei gesummten Tönen.

4 = Abstellbewegung.)

Ton	Hoher Ton		Kurvenform (in Klammer Umdrehungsgeschwindigkeit in mm pro 1 Sek.)	Vorstellungstyp
A	*E*	*A*		
15 ab, 7 zurück	7 auf, 4 vor	15 ab, 5 zurück	steil (4,5)	stark motorisch
2 ab, 2 zurück	undeutlich	undeutlich	mäßig steil (5)	„ „
7 ab, 5 zurück	—	—	mäßig steil (9)	unbekannt
1 ab, 2 zurück	7 auf, 5 vor	5 ab, 3 zurück	mäßig steil (5)	visuell-akustisch
abgleiten	—	—	steil (5)	stark motorisch
3 ab, 2 zurück	3 auf, 3 vor	3 ab, 3 zurück	steil (5)	motor.-akustisch
4 ab, 3 zurück	4 auf, 3 vor	4 ab, 2 zurück	mäßig steil (5)	visuell-akustisch
1 ab, 4 zurück	15 auf, 4 vor	4 ab, 2 zurück	mäßig steil, nur bei f^1 abgleiten (6)	visuell-motorisch
4 ab, 2 zurück	5 auf, 3 vor	3 ab, 3 zurück	steil (5,5)	motor.-akustisch
1,5 ab, 2,5 zur.	1,5 auf, 2 vor	1,5 ab, 2 zurück	mäßig steil (5,5)	motor.-visuell
1,0 ab, 0,5 zur.	2 auf, 1 zurück	1,5 ab, 1 vor	mäßig steil (4,5)	motor.-akustisch
4 ab, 3 zurück	3 auf, 2 vor	3 ab, 3 zurück	steil (5)	visuell-akustisch
1 ab, 1 zurück	2 auf, 2 vor	3 ab, 3 zurück	mäßig steil (5)	motor.-akustisch
1 ab, 2 zurück	4 auf, 3 vor	2,5 ab, 2 zurück	steil (3,5)	„ „
6 ab, 2 zurück	9 auf, 2,5 vor	5 ab, 4 zurück	steil (4,5)	stark motorisch
wenig ab	2 auf, 3 vor	2 ab, 2 zurück	flach (4,5)	motor.-akustisch
1 auf, 1 zurück	2 auf, 1 vor	2 ab, 1 zurück	mäßig steil (3,5)	visuell-akustisch
1 ab, 1 zurück	2 auf, 3 vor	2 ab, 3 zurück	flach (5)	„ „
10 ab, 3,5 zur.	abgleiten	abgleiten	steil (5)	stark motorisch
1,5 ab, 2 zurück	3,5 auf, 2 vor	4 ab, 2 zurück	mäßig steil, später nur abwärts (6)	„ „
abgleiten	abgleiten	abgleiten	steil (5)	visuell-motorisch
2 ab, 1 zurück	5 auf, 3,5 vor	4 ab, 1,5 zurück	mäßig steil	„ „

Nadoleczny, „Untersuchungen über den Kunstgesang“, Berlin 1923, entnommen.

oben, bei *o* und *u* nach unten. Auch die Artikulationen ruhig gesprochener Konsonanten haben nicht viel Einfluß auf die Kehlkopfstellung, und zwar im Verhältnis mehr auf die wagerechte als auf die senkrechte Bewegung. Nur diejenigen Laute, welche starke Zungenbewegungen erfordern (*k*, *l*), rufen größere Vertikalbewegungen hervor.

Die Untersuchungen der Kehlkopfbewegungen beim Gesang sind in verschiedener Weise von verschiedenen Autoren ausgeführt worden.

Ich gebe nachstehend zunächst die Ergebnisse der Messungen von Harless und Merkel nebeneinandergestellt wieder. Harless fand bei einem 21 jährigen Tenorsänger das *a* 20 mm unterhalb des mittleren Standes des Kehlkopfes. Von hier an stieg der Kehlkopf mit jeder Tonstufe der *C*-Dur-Tonleiter um 3 bis 4 mm, so daß er bei c^1 14 mm unterhalb des Nullpunktes stand; bei d^1 sprang er auf 6 mm oberhalb des Nullpunktes und stieg dann bis zum a^1 um je 3 bis 4 mm. Der Kehlkopf machte also zwischen c^1 und d^1 einen Sprung von 20 mm, offenbar den bekannten Sprung zwischen Brust- und Falsettregister, ein Zeichen dafür, daß jener Sänger noch nicht fertig ausgebildet war. Auch bei Merkels Skala zeigt

	Harless	Merkel
F	—	— 21 mm (— 9‴)
G	—	— 19 „
A	—	— 17 „
H	—	— 15 „
c	—	— 14 „
d	—	— 12 „
e	—	— 10 „
f	—	— 9 „ (= — 4‴)
g	—	— 7 „
a	— 20 mm	— 5 „
h	— 17 „	— 3 „
c^1	— 14 „	0 „ (Nullpunkt des Kehlkopfes)
d^1	+ 6 „	+ 9 mm
e^1	+ 9 „	+ 11 „ (= + 5‴)
f^1	+ 12 „	—
g^1	+ 16 „	—
a^1	+ 20 „	—

sich deutlich ein Sprung zwischen c^1 und d^1. Auch die Merkelsche Tabelle über die drei verschiedenen phonischen Kehlkopfstände bei den in verschiedener Weise hervorgebrachten Gesangstönen gibt Gutzmann sen. wieder, wobei er die Skala der Pariser Linien der besseren Vergleichbarkeit wegen in Millimeterskala umgewandelt hat.

Merkel kam, wie man sieht, zu dem Ergebnis, daß der Kehlkopf mit zunehmender Höhe steigt, mit zunehmender Tiefe wieder fällt. Übrigens beobachtete auch er schon, daß beim hohen Ton manchmal der sonderbare Fall eintreten konnte, daß der Kehlkopf nicht nur gar nicht stieg, sondern um ein bis zwei Linien fiel. Im Gegensatz zu der Annahme, daß der Kehlkopf beim Gesang proportional der Tonhöhe auf- und absteigt, stehen die Ergebnisse besonders von E. Barth, der „bei geschulten Sängern und Sängerinnen“ feststellt, daß „gerade der umgekehrte Bewegungsmodus eintrete, d. h. daß mit ansteigender Tonhöhe der Kehlkopf tiefer tritt und umgekehrt, daß er also beim tiefsten Ton seinen höchsten, beim höchsten Ton seinen tiefsten Stand inne hat“. Nach Nado-

Merkels Tabelle.

Skala des Kehlkopfes in mm	Töne bei geschlossenem Munde				Töne bei offenem Munde			
	Freie Bewegung	Beschränkte Bewegung	Erweiterte Bewegung		Dunkles Timbre			Helles Timbre
26	—	—	d^1—dis^1		—		—	e^1 (schwierig)
24	—	—	d^1		—		—	d^1—es^1
22	—	—	*h*—c^1		—		—	c^1—cis^1
20	—	—	*f*—*a O*		—		—	*h*
18	—	—	*d*—*e*		—		—	*b*
15	—	—	*cis*		—		—	*a*
13	c^1	—	—		—		—	*g*
11	*h*	—	*c*		—		—	*f O*
9	*g*—*a*	—	—		d^1		—	*es* (*c* piano)
7	*e*—*f*	—	*H*		*h*—c^1		—	*cis*
4	*c*—*d*	—	—	*B*	*g*—*b*		—	*H*—*c*
2	*H*	—	*B*	*A*	*e*—*fis*		—	*A* (*c mf*)
⊙ 0	*O A*	—	*A*	*G*—*Fis*	*d*		—	*G* (*c mf*)
2	*Gis*	—	*Gis*	*F*	*c*		—	*F*
4	*G*	—	*G*	*E*	*O B*		—	*E*
7	*Fis*	—	*Fis*	*D*	*G*—*A*		—	*D*
9	*F*	—	*F*	*C*	*Fis*		—	*C*—H^1
11	—	—	—	H^1	*F*		—	—
13	—	—	—		*E*	*F*	e^1—f^1	—
15	*E*	cis^1	*E*		*Es*	*E*	c^1—d^1	—
18	—	*a*—*h*	—		*D*	*E*	*a*—*h*	—
20	—	*c*—*g*	—		—	—	*c*—*g*	—
22	*Dis*	*O A*—*H*	*Dis*		—	*Dis*	*O A*—*H*	—
24	—	*Fis*—*G*	—		—	—	*Fis*—*G*	—
26	*D*	*E*—*D*	*D*		—	*D*	*E*	—

leczny gilt dieses Verhalten des Kehlkopfes geradezu als Charakteristikum des Kunstsängers gegenüber dem Natursänger, dessen Kehlkopf mit der Tonhöhe ansteigt. Die Ursache für diese der natürlichen entgegengesetzten Kehlkopfbewegung sei in dem Bestreben zu suchen, durch den allmählich einsetzenden Mechanismus des Deckens den sogenannten Ausgleich der Stimmregister und damit eine gleichmäßig schöne Tongebung zu erreichen.

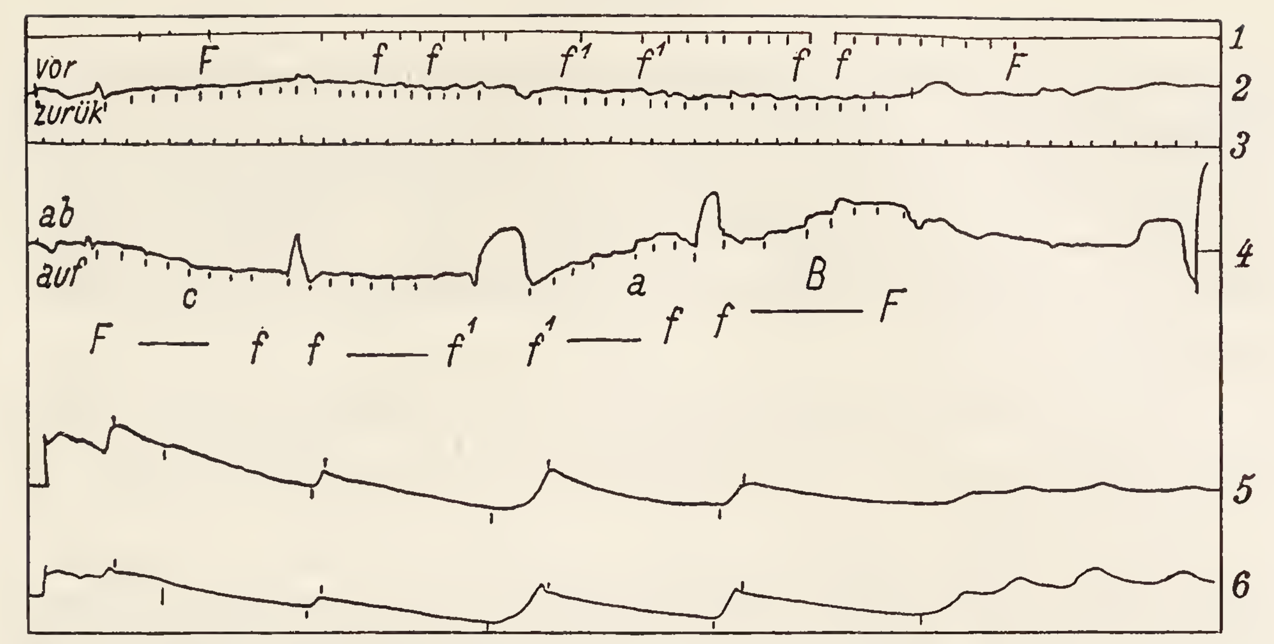
E. Barth zeichnete mit dem Zwaardemakerschen Laryngographen nur den Kehlkopfstand in der Senkrechten auf. Die Ge-

nauigkeit der Zeichnung des Laryngographen leidet aber darunter, daß die Tongebung je schlechter wird, je fester die Pelotte des Apparates am Kehlkopf anliegt. Umgekehrt kommt es zu den oben schon erwähnten Abgleitkurven. Diesen erschwerten Aufnahmebedingungen ist besonders der dem Ohr meist leicht wahrnehmbare Registerwechsel ausgesetzt. Den Registerbruchstellen der Atemkurve entsprechen nämlich solche Änderungen in den Bewegungen des Kehlkopfes (Nadoleczny). Diese Tatsache läßt sich aber oft besser mit dem Getast als mit dem Laryngographen nachweisen.

Will man den Kehlkopfstand richtig beurteilen, so tut man gut, gleichzeitig auch die Bewegungen der Wandung des oberen Ansatzrohres aufzuzeichnen. Der jedesmalige Kehlkopfstand macht das Ansatzrohr länger oder kürzer, und es ist sehr wohl denkbar, daß durch Kompensationen der Bewegungen oder Verkürzungen am Zungengrund beispielsweise die für das beste, kraftvollste Tönen der Stimme geeigneten Ansatzröhren gefunden werden. Gutzmann sen. hat deshalb in Gemeinschaft mit Th. S. Flatau nicht nur die Kehlkopfbewegungen, sondern gleichzeitig auch die des Ansatzrohres verzeichnet. Sie fanden schon vor E. Barth, daß der Kehlkopf des ungeschulten Sängers den Skalen nicht gleichsinnige Bewegungen machte, Bewegungen, die allerdings durchaus gering waren, und konnten konstatieren, daß der Kehlkopf im ganzen ein sehr „deutliches Hinstreben zur Indifferenzlage“ beim Singen zeigt. Nadoleczny betont demgegenüber auf Grund seiner sehr sorgfältigen und an sehr großem Material vorgenommenen Untersuchungen über den Kunstgesang, daß dieser Ausdruck wohl in beschreibendem, nicht aber in erklärendem Sinne Anwendung finden dürfe auf die Kehlkopfbewegungen jener Sänger, die absichtlich das Ausmaß dieser Bewegungen möglichst einzuschränken suchen. Das aber sei der Fall bei fast allen Bühnensängern, deren Kehlkopf dabei unterhalb der sogenannten Indifferenzlage stehe. Man vergleiche die beiden Abbildungen. Andererseits zeigte sich im Ansatzrohr ein auffallendes Verschwinden der Vokalunterschiede in der Bewegung, dabei sehr starke, unabhängige Mundbodenbewegungen, wobei die Vokalunterschiede aber doch noch nachweisbar waren.

Gutzmann sen. und Flatau erblickten hierin das Bestreben, „im Kunstgesang periphere Teile zugunsten des Kehlkopfes zu belasten und gleichzeitig eine relativ

Abb. 76.



Atem- und Kehlkopfbewegungen beim Auf- und Abwärtssummen der vier *F*-Dur-Tonleitern (Naturbaß). 1. Stimmkurve. 2. Horizontalbewegung des Kehlkopfes. 3. Zeitschreibung: 1 Sek. 4. Vertikalbewegung des Kehlkopfes. 5. Brustatmung. 6. Bauchatmung. (Letzter Ton *F* sehr leise.)

Abb. 77.

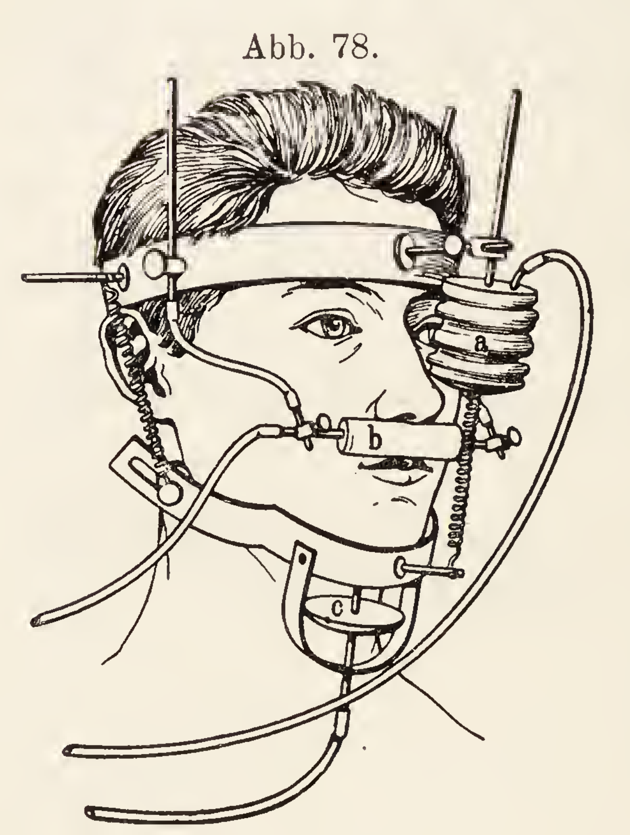
Atem- und Kehlkopfbewegungen beim Auf- und Abwärtssingen der Tonleiter *e* bis e^1, Vokal *o* (Konzertbaß). 1. Horizontalbewegung des Kehlkopfes. 2. Zeitschreibung: 1 Sek. 3. Vertikalbewegung des Kehlkopfes. 4. Brustatmung. 5. Bauchatmung.

gleiche, einheitliche Form des Ansatzrohres zu bewahren", während die zu den verschiedenen Vokalisationen notwendigen Veränderungen mehr und mehr der unabhängiger gewordenen Mundboden- und Zungenaktion zufallen. Man vergleiche hiermit auch noch die Eijkmannschen Untersuchungen der Kehlkopfbewegungen.

3. Unterkieferbewegungen. Die bequemste und bisher beste Aufzeichnung der Unterkieferbewegungen stammt wieder von Zwaardemaker.

Er legte einen Metallbügel um den Unterkiefer herum, verband diesen jedoch nicht etwa federnd oder festgeklammert damit, sondern hängte ihn im Gleichgewicht auf, weil sich nur auf diese Weise ein ungehindertes Sprechen erzielen läßt. Zur Aufhängung des Bügels diente ein Stirnband, das in verschiedener Weite für die verschiedenen Köpfe verschließbar ist. An dieses Stirnband waren drei Stifte gelötet; ein Stift ragte in der Mitte der Stirn weit nach vorn, zwei waren symmetrisch seitlich angebracht, etwas über den hinteren Teil der Schläfe. An diese Stifte wurde der Bügel mit drei kräftigen Metallfedern aufgehängt; damit der Unterkieferbügel aber nicht schlotterte, wurden ein paar Kautschukstücke, in welche die hinteren Kieferecken hineinpaßten, angebracht und eine verstellbare Kugel, die fest an das Grübchen am Kinn drückte. Diese Kugel konnte rollende Bewegungen ausführen, so daß sich die Haut des Kinnes unter derselben hin und her zu schieben vermochte. In die mittelste Metallfeder, welche die vordere Aufhängung besorgte, wurde nun ein zylindrisches Luftkissen (a) eingeschaltet. Jede kleine Bewegung des Unterkiefers wird auf das harmonikaartig ausziehbare Luftkissen übertragen und die Vergrößerung oder Verringerung des Volumens in gewöhnlicher Weise auf eine Schreibkapsel übergeleitet. Die Empfindlichkeit des Luftkissens kann man je nach der Aufhängung sowie nach der im Innern des Luftkissens befindlichen Spiralfeder abstufen.

Abb. 78.



4. Zunge und Mundboden. Rosapelly hat die Bewegungen der Zunge zu erkennen gesucht, indem er die Bewegungen des Mundbodens durch einen „Tambour explorateur" auf die Schreibkapsel übertrug (Rousselot, S. 95).

Rosapelly ließ sich einen genauen Abguß seines Kinnes anfertigen, an dem er einen tastenden Arm anbrachte, der auf den Tambour explorateur

die Bewegungen des Mundbodens übertrug. Rousselot befestigte einen Bügel um den Kopf, an dem er mit Seitenarmen den Aufnahmeapparat gegen den Mundboden drückte, so daß der Apparat nicht bloß für eine Untersuchungsperson, sondern für alle dienen konnte. Später nahm er ein einfaches Stahlband, das vom Kinn aus nach hinten gelegt und dort mit einem Gummiband festgehalten wurde. An diesem Stahlband befand sich in einem kleinen Schieber ein Träger, der eine Aufnahmekapsel hielt, an deren Membran sich in der Mitte ein kleiner Knopf befand. Die Bewegungen des Mundbodens drückten auf diesen Knopf und übertrugen sich in gewöhnlicher Weise auf die Schreibkapsel. Rousselot gibt auch an, daß er schon 1889 den Druck der Zunge unter dem Gaumen mittels eines Tambours untersuchte, indem er seinen künstlichen Gaumen (man sehe darüber später) mit einer Membran überzog. Später nahm er kleine Kautschuksäckchen (ampoules de caoutchouc) von verschiedener Form und Größe, die es erlaubten, neben allen Stellungen und Bewegungen der Zunge auch gleichzeitig die Vibrationen wiederzugeben. (Diese ampoules exploratrices sind leicht in jedem Gummiwarengeschäft anzufertigen).

Zwaardemaker ging ebenfalls von der Überlegung aus, die Rosapelly schon zur Herstellung seines Apparates geführt hatte. Es ist klar, daß man die Bewegungen der Zunge unmittelbar nur zur Anschauung bringen kann, wenn man in den Mund selbst hineingeht. Wegen der schon mehrfach angeführten Gründe ist es jedoch immer besser, die Zungenbewegungen aus der Spannung der Muskulatur am Mundboden abzuleiten. Über die Muskulatur am Mundboden sagt Zwaardemaker: „Dieselbe dient zwar zum Teil zur Kieferöffnung, manchmal ist sie jedoch fast ausschließlich bei der Ausführung von Sprechbewegungen tätig. Dies gilt namentlich vom mittleren Teil des Mundbodens; es befindet sich dort der löffelförmige M. mylohyoideus, welcher sich zwischen beiden Hälften des Mundbodens ausdehnt, dessen Zusammenziehung die Zunge emporhebt, ferner der die Zunge ausstreckende M. genio-glossus, endlich zwischen den beiden genannten der dünne, geradlinige, nach hinten gehende M. genio-hyoideus. Die vorderen Äste des M. digastricus stören nur bei einigen Individuen, bei welchen dieselben in der Medianlinie zusammenstoßen, was gewöhnlich nur ganz vorn der Fall ist.“ Deshalb wählte Zwaardemaker einen Punkt der Mittellinie, der ungefähr 1 bis $1^1/_2$ cm hinter dem Kieferrand am Kinn lag. Dort wurde ein Luftkissen mit Pelotte angebracht (siehe Abb. 78c). Dieses Kissen verband er in einfacher Weise mit dem schon für die Kieferbewegung beschriebenen Kieferbügel, wobei es so angebracht wurde, daß es einen sanften Druck auf den Mundboden ausübte. Auf diese Art geben die Hebungen und Senkungen der Schreiblinie die wechselnden Spannungen der Mundboden-

muskulatur an. Die Bewegung der Zunge z. B. beim *u* nach unten wird sich ganz deutlich am Mundboden und damit auch in der Schreibkurve bemerkbar machen. Besonders zeigt sich eine deutliche Hervorstülpung des Mundbodens beim *l* und eine deutliche Hebung beim *k*.

Um die Deutung der so vom Mundboden gewonnenen Kurve auf die Zungenbewegung zu übertragen, muß man also ganz offenbar bereits von der vorhandenen Kenntnis der Zungenbewegungen ausgehen, die ja durch das Röntgenverfahren heute sehr vervollkommnet werden kann. Man sieht, wie gerade hier aus den Schreibkurven nicht unmittelbar Schlüsse gezogen werden dürfen.

5. Gaumensegel. Die Bewegungen des Gaumensegels wurden in einfachster Weise zur Anschauung gebracht von Czermak, der zuerst (1859) einen Fühlhebel wagerecht durch die Nase bis auf die Rückfläche des Gaumensegels brachte und an den Hebungen desselben den Grad der Hebung des Segels erkannte. Daß man diese Bewegungen mit Leichtigkeit auf einen Registrierzylinder aufschreiben kann, liegt auf der Hand. Ferner verband er die Nasenhöhle mit einem Kautschukschlauch luftdicht, dessen anderes Ende zu einer kleinen Schreibkapsel ging. Diese aber trug an Stelle des Schreibhebels ein Spiegelchen, das sich hebelförmig auf und ab bewegte, so oft die elastische Membran der Schreibkapsel durch den Luftdruck hervorgewölbt oder eingedrückt wurde. Ließ man auf das Spiegelchen ein helles Licht fallen, so reflektierte es dasselbe und gab nun die Bewegung des Gaumensegels in vergrößertem Maßstabe wieder. Man darf nicht übersehen, bei diesem Verfahren die Nase luftdicht mit dem Kautschukschlauch in Verbindung zu bringen. Sonst würde bei allen Mundlauten kein Ausschlag erfolgen, wenn man beispielsweise nur eine Nasenhöhle mittels der Olive abschlösse und die andere offen ließe. Drückt man aber die andere Nasenöffnung auch zu, so wird bei der jedesmaligen Hebung des Gaumensegels, z. B. bei den Vokalen *a*, *o*, *u* usw. eine gewisse Menge Luft in die Höhe gehoben, die nun ihre Wirkung auf die kleine Schreibkapsel ausübt. Das Experiment ist sehr einleuchtend und besonders für die Vorlesungen außerordentlich geeignet. Rousselot verband so wie Czermak die Nasenhöhle mittels Olive mit einer Schreibkapsel, zeichnete aber nur die die Nasenhöhle durchströmende Luft bei den Nasallauten in dieser Weise auf.

Rabotnoff wendet u. a. ein neues Verfahren an, indem er zur Untersuchung des Stimmklanges Mund- und Nasenhöhle durch einen in den Nasenrachenraum eingeführten und dann mit Luft oder Wasser gefüllten kleinen Gummiballon trennte. Ganz einwandfrei lassen sich von den auf einem Kymographion aufgezeichneten Bewegungen dieses Gummiballons bzw. seiner Innendruckverhältnisse die Bewegungen des Gaumensegels freilich nicht ablesen, da sie ja nicht ausschließlich von Bewegungen des Gaumensegels veranlaßt werden. Es ist aber auf alle Fälle eine sehr dankenswerte Bereicherung der Untersuchungsverfahren des Gaumensegels.

Ein anderes Instrument stammt von Weeks (Rousselot, S. 94). Er leimte einen kleinen Knopf aus Gips, der an einem Hebelarm befestigt war, direkt an der Basis des Zäpfchens an! Rousselot ist der Meinung, daß dieser Apparat zwar sehr peinlich in seiner Anwendung sei, daß er aber nicht so peinlich sei, wie die durch die Nase geführte Sonde, deren Erfindung er irrtümlich Allen zuschreibt. Diese Sondenregistrierung ist übrigens noch mehrfach nacherfunden worden (Rousselot, S. 95). Die Anbringung der Nasensonde ist durchaus nicht so unangenehm, wenn erst der leichte Kitzel in der Nase selbst überwunden ist. Nötigenfalls kann man auch die Nase dazu kokainisieren, was für die freie Beweglichkeit, wenn man eine Kokain-Adrenalinmischung benutzt, überaus vorteilhaft ist.

Besonders leicht ist diese Fühlhebeluntersuchung natürlich in solchen Fällen, wo man von oben her mehr Raum hat, um den Fühlhebel bequem anzubringen. In der Weise hat zuerst Gentzen Gelegenheit gehabt, eine Patientin zu untersuchen, bei der infolge einer Geschwulstoperation das eine Auge und die seitliche Nasenwand entfernt waren. Der Fühlhebel wurde mittels eines kleinen Gewichtchens auf die nasale Fläche des Gaumensegels aufgesetzt, er drehte sich um eine Achse, die mittels eines Stirnbandes unmittelbar vor der leeren Augenhöhle befestigt war. Der andere Arm des Hebels zeichnete die Bewegungen auf das berußte Papier auf. Genau in der gleichen Weise hatte Gutzmann sen. Gelegenheit, eine Patientin mittels eines Fühlhebels genau zu untersuchen.

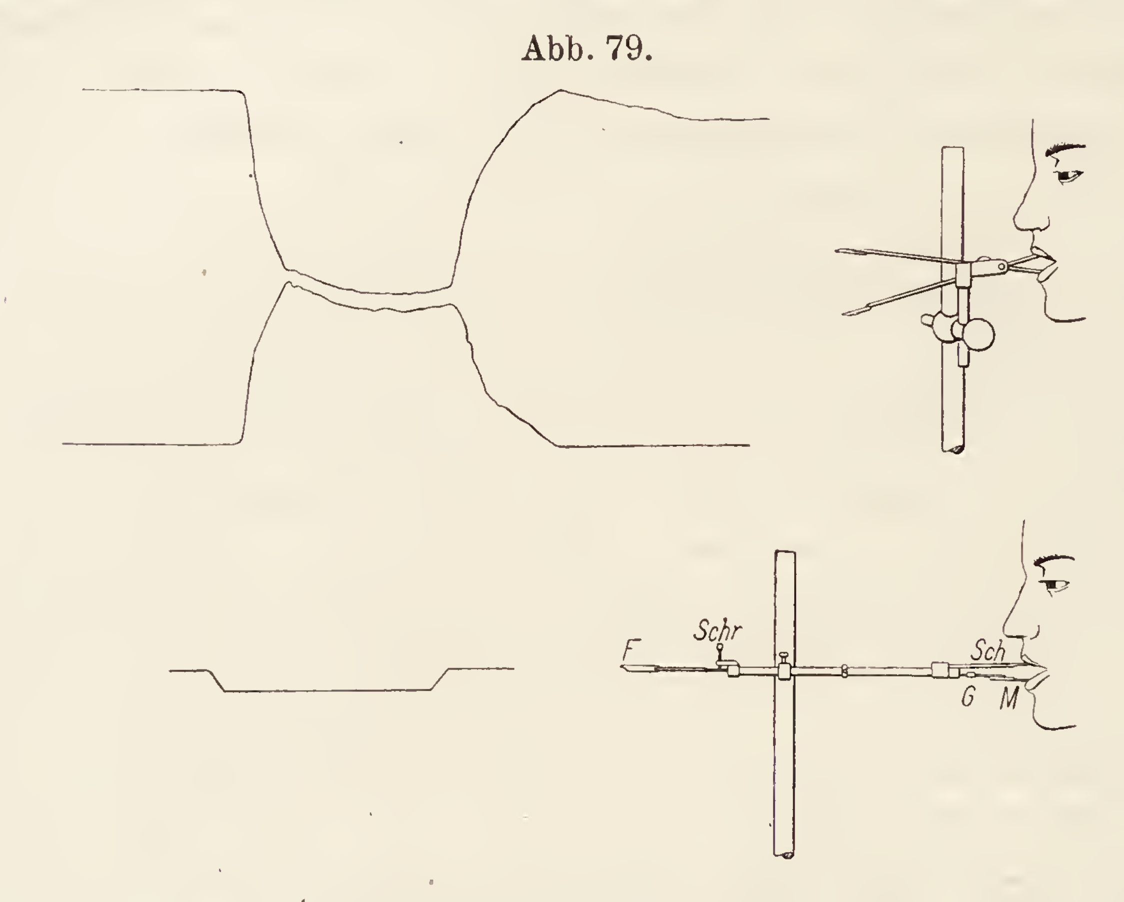
Für die physiologische Untersuchung der Gaumensegelkraft hat A. Hartmann einen sehr praktischen Apparat angegeben. Er verbindet die eine Nasenhöhle mittels einer Olive mit einem Gebläse, die andere Nasenhöhle mittels einer zweiten Olive mit einem mit Quecksilber gefüllten Manometerrohr. Wenn er nun das aufgeblasene Gebläse durch einen Quetschhahn staut und die zu untersuchende Person einen Vokal langanhaltend, oder auch einen Dauerkonsonanten, sprechen läßt und dann den Hahn öffnet, so rückt die jetzt plötzlich frei gemachte gestaute Luft durch die Olive in die eine Nasenhöhle, entweicht dann in die andere Nasenhöhle und wirkt so auf das Quecksilber. Das wird sie so lange tun, wie das

12*

Gaumensegel dem Druck standhält, so daß man an dem Ausschlag der Quecksilbersäule die Kraft des Gaumensegels direkt ablesen kann. In dieser Weise haben Biebendt und H. Stern ihre schon erwähnten Untersuchungsreihen durchgeführt (vgl. S. 92/93).

6. Lippen. Die Aufzeichnung der Lippenbewegung wurde zuerst von Rosapelly angegeben (Rousselot, S. 90). Sein scherenförmiger Apparat setzt sich aus zwei kleinen Armen zu-

Abb. 79.



sammen, die eine löffelartige Biegung zur Aufnahme der Ober- und Unterlippe besitzen. Zwischen sich haben sie eine Luftkapsel, die bei ihrer gegenseitigen Annäherung zusammengedrückt wird. Rousselot hat einen sehr gut durchdachten Apparat dafür angegeben; er ließ zwei kleine Hebelarme von den Lippen in Bewegung setzen, die ihre Bewegungen auf eine Luftkapsel übertrugen. Gleichzeitig konnte er zwischen diesen Hebelarmen einen zusammendrückbaren Mundtrichter anbringen, der, wenn man die verschiedenen Öffnungsstellungen der Lippen, z. B. bei den verschiedenen Vokalen aufnahm, auch gleichzeitig die durch den Mund gehende Luftströmung zur Aufzeichnung brachte. Für die Vor- und Rückwärtsbewegung der Lippen drückte er von dem schon beschriebenen Kinnbügel aus eine Kapsel mit Pelotte gegen den Lippensaum. In etwas anderer Art hat Zwaardemaker die Lippenbewegung mittels Luftkissen aufgezeichnet, die er sowohl an der Ober- wie an der Unterlippe fest anschließen ließ. Bei der

Stülpung der Lippen wurden die Luftkissen eingedrückt, beim Zurückgehen wieder frei gelassen. Die Befestigung wurde durch einen sogenannten Nasenöffner von Feldbausch, ein kleines Instrument, das die Nasenhöhle federnd auseinander- und dadurch sich zugleich selbst festhält, bewirkt. Das Luftkissen für die Oberlippe war zylindrisch und lag in einer kleinen Metallrinne. Da diese sowohl wie der an dem zylindrischen Luftkissen befestigte Gummischlauch doch ziemlich schwer sind, so befestigte er das Ganze in einfacher Weise an dem oben beschriebenen Stirnbügel (siehe Abb. 78b).

Die neuesten Labiographen (Abb. 79) stammen von Meyer und von Wilczewski, der damit die Stimmhaftigkeit von Lippenlauten bestimmte (Abbildung nach Calzia, S. 71). Schilling verwandte ihn zu Untersuchungen über die Lippenbewegung bei Dysarthrien.

Eine andere Form der Zwaardemakerschen Luftkissen sind kugelförmige, ganz kleine Aufnahmekapseln, die zu dreien in einer Reihe angeordnet sind, so daß man sie gesondert mit Mareyschen Schreibkapseln in Verbindung bringen kann. Sie sind außerordentlich leicht einstülpbar und behindern die Bewegung der Lippen gar nicht. Zwaardemaker nennt diesen kleinen Apparat einen „Analysator der Lippenstülpung". Die Aufnahme der Unterlippenstülpung wurde durch zwei kugelförmige Luftkapseln bewirkt.

b) Apparate für die Gesamtaufnahme der Artikulationsbewegungen.

Zwaardemaker hat seine oben (S. 166, Abb. 74 und S. 176, Abb. 78) im einzelnen geschilderten Apparate an dem Stirnbügel zusammen befestigt, so daß man eine größere Reihe von Bewegungen gleichzeitig aufzeichnen kann, was insbesondere für die Untersuchung der zeitlichen Verhältnisse der einzelnen Bewegungen von Wichtigkeit ist. Es ist bemerkenswert, daß schon vor längerer Zeit der Versuch gemacht worden ist, durch Fühlhebel die gesamte Bewegung des Artikulationsrohres zur Aufzeichnung zu bringen, so daß man auf der Zeichnung direkt ablesen kann, welche Teile des Mundes bewegt worden sind, und, wenn man eine derartige Zeichnung auf ein fortlaufendes Papier schreiben läßt, man ablesen kann, was der Untersuchte gesagt hat.

Ein derartiger Apparat stammt von Amadeo Gentilli, er nennt ihn den Glossographen. In seinem Vortrag betont er, daß der Apparat den Zweck habe, die menschliche Sprache in einer leicht lesbaren Zeichenschrift automatisch aufzuzeichnen. Der Erfinder geht davon aus, daß sich sämtliche Artikulationsbewegungen auf folgende einfache Bewegungen zurückführen lassen: Heben des Zungenrückens bei *ch, r, o, u,* Heben der Zungenspitze bei *sch, l,* Heben der ganzen Zunge bei *e, i,* Vorschieben der Zungen-

spitze bei *s*, *t*, Heben der Unterlippe bei *o*, *u*, *f*, *b*, Senken der Unterlippe bei *a*, Senken der Oberlippe bei *f*, *b*, Ausströmen des Hauches durch die Nase mittels Senkung des Gaumensegels bei *n*, *m*. Diese charakteristischen Bewegungen überträgt er durch Doppelhebel von der Innenseite des Mundes nach außen und verbindet sie mit Schreibstiften, und zwar sind sie so verbunden, daß bei *ch*, *r*, *g* bloß der Hebel 4, bei *e*, *i* die Hebel 4 und 5 gleichzeitig, bei *sch*, *l* bloß der Hebel 6, bei *s*, *t* Hebel 5 und 6 gleichzeitig, bei *a*, *o*, *u* Hebel 3 und 4, bei *f*, *b* Hebel 2 und 3 in Aktion treten.

In der Ruhe ziehen sämtliche Stifte auf dem ablaufenden Papierstreifen nur gerade Linien; bei der Bewegung entstehen Wellenlinien, aus deren Form und Länge man den Grad des Verschlusses und die Verschmelzung mit anderen Lauten des Artikulationsgebietes entnehmen kann. Die Nasenlaute *m* und *n* werden mit Hilfe zarter Flügelchen dargestellt, welche, durch den Hauch bewegt, einen schwachen elektrischen Strom schließen, der einen Elektromagneten anregt und so den Hebel 1 in Bewegung setzt. *m* und *n* erscheinen also auf der Zeile 1, jedoch ohne Verschiedenheit des Ausschlages, und unterscheiden sich nur dadurch, daß *n* von dem Zeichen für *t*, *m* dagegen von dem Zeichen für *b* begleitet wird. Nur der reine Nasalton des Französischen erscheint ohne Begleitung. Der Apparat kann mit einer Hand leicht in den Mund geführt werden und stützt sich an die Zähne. Der Papierstreif, auf den die Federn zeichnen, ist unmittelbar am Apparat selbst in einer Rolle angebracht. Physiologisch ist diese Lösung der Aufgabe, die Sprachbewegung ablesbar zu verzeichnen, jedenfalls von Belang, und Ludwig hat in seinen Vorlesungen den Apparat auch stets vorgeführt.

c) *Färbeverfahren.*

Um über die Artikulationsstellen der einzelnen Laute Klarheit zu bekommen, hat Grützner ein sehr leicht anwendbares und in die experimentelle Phonetik allgemein eingeführtes Verfahren angegeben. Grützner färbte sich die Zunge und fand dann nach der Artikulation diejenigen Stellen am Gaumen gefärbt, an welche behufs irgend eines Lautes die Zunge angelegt wurde. Sein Verfahren schilderte er folgendermaßen: „Die trocken abgewischte Zunge bestreiche ich mir dick mit Karmin oder chinesischer Tusche, und artikuliere dann möglichst deutlich und zwanglos die Laute. Hierauf wird der Mund geöffnet gehalten und bei passendem Licht mit einem großen Kehlkopfspiegel, welcher schräg oben nach dem Gaumen sieht, und einem gewöhnlichen Toilettenspiegel betrachtet.“

Grützner erwähnt ausdrücklich, daß schon Oakley Coles ähnlich verfuhr, um bei künstlichem Verschluß von Gaumenspalten durch Obturatoren zu sehen, welche Gaumenlaute vorzugsweise zu ihrer Bildung des Obturators bedürfen, indem er das Innere des Mundes mit einer Mischung aus Mehl und Gummiarabikum bestrich. Gutzmann sen. hat das

Grützner sche Verfahren insofern abgeändert, als er nicht die Zunge, sondern den Gaumen färbte. Bestreicht man den Gaumen beispielsweise mit Aquarellfarbe von Ultramarin und spricht nun irgend einen Zungenlaut, so sieht man nach der Öffnung des Mundes nicht nur die Stelle, an der sich die Zunge dem Gaumen angelegt hat, denn hier ist durch die schwammige Oberfläche der Zunge die gesamte Farbe abgenommen, sondern man sieht gleichzeitig, welche Stelle der Zunge sich dort angelegt hat. Das wäre durchaus nicht aus der Grützner schen Zungenfärbung allein zu erkennen. Es ist merkwürdig, daß die Experimentalphonetiker bis jetzt so wenig auf die Berührungsstellen der Zunge selbst acht gegeben haben; denn die weitere Ausbildung, die das Grützner sche Verfahren von Rousselot gefunden hat, besteht nur darin, daß er an Stelle des natürlichen Gaumens einen künstlichen Gaumen benutzt, einen Gaumen aus Papiermaché, den er nach einem Gipsabdruck des Gaumens der Person, die untersucht werden soll, anfertigt. Auf diese Weise kann er, besonders wenn er den Gaumen in einzelne Felder zerlegt, und nun das gewonnene Färberesultat auf ein Schema einzeichnet, eine genaue Darstellung der Anlagerungsstellen der Zunge erhalten. Wir werden bei der Beschreibung der Untersuchungsverfahren der einzelnen Laute noch sehen, wie das von Gutzmann sen. angegebene Verfahren besonders für die genaue Erkennung gewisser *s*-Bildungen entschieden vorzuziehen ist.

Neuerdings hat Reichenbach das Grützner sche Färbeverfahren noch etwas verbessert, indem er zunächst einen Gipsabdruck von Ober- und Unterkiefer herstellte. In einer zweiten Sitzung bestrich er dann die Zunge des Untersuchten mit einer dünnen Gipslösung. Der Untersuchte wurde nun angewiesen, eine Silbe zu sprechen, in der der zu erforschende Laut einzeln vorkam und als einziger die Zunge an die Zähne führte. Unmittelbar danach mußte die Versuchsperson den Mund offen halten. Die auf dem Gaumen und an der oberen Zahnreihe erhaltenen Berührungsflächen wurden dann auf das Gipsmodell durch Aufzeichnung übertragen.

Um bei der Untersuchung des Unterschiedes zwischen weichem (Media) und hartem (Tenuis) Laut die größere Berührungsfläche der Media gegenüber der der Tenuis festzustellen, hat Gutzmann sen. doppelseitig berußtes Papier zwischen die sich aneinanderlegenden Lippen bei *b* und bei *p* gelegt, und so die Lippen selbst sich abdrücken lassen. Die Abbildung zeigt die auf diese Weise gewonnenen Bilder und gleichzeitig auch die deutlichen Unterschiede (siehe Abb. 84). Dieses Verfahren hat Reichenbach neuerdings angewandt, um Eigentümlichkeiten der Lautbildung beim Fehlen der vorderen Zähne darzustellen.

Ebenso kann man mit der zweiten und dritten Artikulationsstelle verfahren, indem man an Stelle des Papiers flache Aluminiumstreifen der Wölbung des Gaumens entsprechend biegt, sie dann berußt und vorübergehend der Mittellinie des Gaumens anlegt. Hat man eine Anzahl derartiger leicht herzustellender Streifen be-

reit, so kann man sich sehr bald davon überzeugen, daß der bei den Verschlußlauten des ersten Artikulationsgebietes gefundene Unterschied zwischen weichem und hartem Verschlußlaut bei denen des zweiten und dritten ebenfalls zutrifft.

C. Die Sprachlaute.

Im folgenden wird ein kurzer Gang durch die Reihe der einzelnen Laute gemacht, ohne daß wir uns, mit Rücksicht auf den zur Verfügung stehenden Raum, in Einzelheiten vertiefen können. Jedoch muß darauf hingewiesen werden, daß die wichtige Frage nach dem Unterschiede der Tenuis von der Media, sowie die Bildung der *s*-Laute ausführlich besprochen wird, einerseits um die Anwendung einiger physiologischer Untersuchungsverfahren an einem Beispiele zu zeigen, andererseits weil gerade hier außerordentlich viele Abweichungen, teils dialektischer, teils sprachlicher Art, vorhanden sind.

a) Vokale und Konsonanten.

Wir wissen besonders durch die Untersuchungen von Helmholtz, daß unsere gesamte Sprechartikulation im wesentlichen nichts ist, als eine Umgestaltung der aus dem Kehlkopf stammenden Stimme, eine Veränderung, die in ihrer unendlichen Mannigfaltigkeit vor allen Dingen durch die verschiedene Form der einzelnen Teile des Ansatzrohres, durch ihre Lagerung zueinander, durch ihre Zusammenziehung oder Erschlaffung bedingt wird. Stellen wir uns das Ansatzrohr in der Abb. 56 als ein einfaches Rohr vor, das leicht, ungefähr im rechten Winkel, geknickt ist, so wird, wenn dieses Rohr überall gleich weit offen ist, die Stimme leicht hindurchgehen können, und es wird für das äußere Ohr der Stimmklang nur mit der Veränderung der Klangfarbe eben durch dieses Rohr hörbar werden. Das ist die Stellung des Ansatzrohres, wie sie beim Vokal *a* stets vorhanden ist. Sowie aber an einer Stelle des Rohres eine Verengerung entsteht, so wird der Klang des Vokals *a* ein anderer werden, es wird eine Art Verdumpfung des reinen Vokalklanges eintreten. Der Grad dieser Verdumpfung des Vokals ist ein unendlich mannigfaltiger und verschieden hoher. Wenn wir uns zunächst an das äußere Ende des Ansatzrohres begeben und sehen, in welcher Weise dieser Mechanismus am Lippensaum in Kraft tritt, so werden wir von hier aus durch Vergleich auf die Veränderungen an den übrigen Stellen des Artikulationsrohres schließen können. Machen wir einmal vor dem Spiegel die Vokalreihe *a*, *o*, *u*, so bemerken wir, daß, vom *a* aus gerechnet, das äußere Ende des Artikulationsrohres sich allmählich verengert, und daß mit dem Weiterfortschreiten dieser Verengerung dieser Vokal immer dunkler und dumpfer wird. Gehen wir vom *u* noch einen Schritt weiter und nähern die Lippen einander so weit, wie es nur irgend möglich ist, ohne den austretenden tönenden Luftstrom zu unterbrechen, so werden wir bald inne,

daß aus dem *u* ein *w* entsteht; und zwar ist dies dasjenige *w*, welches man in Süddeutschland vorfindet, ein durch Aneinandernäherung beider Lippen entstehendes Lippen-*w* oder labio-labiales *w*. Es muß gleich hier erwähnt werden, daß man in Norddeutschland statt dieses *w* ein *w* spricht, welches mit oberer Zahnreihe und Unterlippe gebildet wird, das sogenannte Zahnlippen-*w* oder dento-labiale *w*. Wir sehen, daß zwischen dem labio-labialen *w* und dem vorhergehenden Vokal *u* kein weiterer Unterschied besteht, als der Unterschied des Grades der Verengerung. Nicht die Qualität der Bildung ist anders, sondern nur die Quantität. Im Wesen ist das *w* also vollständig gleichwertig dem vorausgegangenen Vokal *u*, es stellt nur einen höheren Grad der Verengerung an dem Ende des Artikulationsrohres vor. Es ist demnach ganz deutlich, daß zwischen den vorhergehenden Vokalen und dem Konsonanten hier kein grundsätzlicher Unterschied besteht, sondern nur ein Gradunterschied. Trotzdem ist mit diesem Gradunterschied ein neues Merkmal in die phonetische Erscheinung getreten.

Während wir nämlich bei *a*, *o* und *u* im wesentlichen doch immer nur die Stimme hören, und deswegen diese Laute als Stimmlaute (vox = die Stimme) oder Vokale bezeichnen, mischt sich im Augenblick, in dem die Verengerung einen bestimmten Grad erreicht, dem Stimmklange ein charakteristisches, deutlich von dieser Stimme unterscheidbares Geräusch bei, ein Geräusch, das dadurch hervorgerufen wird, daß die austretende Luft an der verengten Stelle eine besondere neue Reibung erhält. Wir wissen ja aus der Anatomie und Physiologie der Stimme, daß die erste verengte Stelle, durch welche die austretende Luft hindurchstreicht, die Stimmritze, diese schmale elliptische Öffnung zwischen beiden Stimmlippen ist. Hierauf kommt der tönende Luftstrom in die große Röhre des Ansatzrohres und entweicht nun aus dem Ansatzrohr nach außen. Stellt sich diesem Luftstrom an irgend einer Stelle des Ansatzrohres eine so starke Verengerung entgegen, daß an den Rändern dieser Verengerung eine neue Reibung entsteht, so ist es deutlich, daß diese Reibung sich hörbar der austretenden Stimme beimischen muß.

In diesem Sinne, weil neben der Stimme (vox) noch ein Geräusch mitklingt, möchten wir physiologisch den Ausdruck Konsonant für alle Laute, die so charakterisiert sind, gebrauchen: consonat aliquid, ergo consonans. Wir lassen also den alten Unterschied von Selbstlautern und Mitlautern als vollständig unphysiologisch und durchaus falsch fallen; denn wir haben ja unter unseren sogenannten Mitlautern eine große Reihe, die ganz zweifellos selbständig zu lauten imstande sind, so z. B. *w*, *m*, *n*, *r*, *l*, *f*, *ch*, *sch*, *p*, *t*, *k*.* Während wir also zwischen Vokal und Konsonant in dem althergebrachten Sinne grundsätzlich keinen Unterschied zu machen imstande sind, wollen wir einen neuen Unterschied dahin festlegen, daß wir sagen: Vokale sind im physiologischen Sinne diejenigen Laute der menschlichen Sprache, bei denen die Stimme (vox) das wesentlichste und charakte-

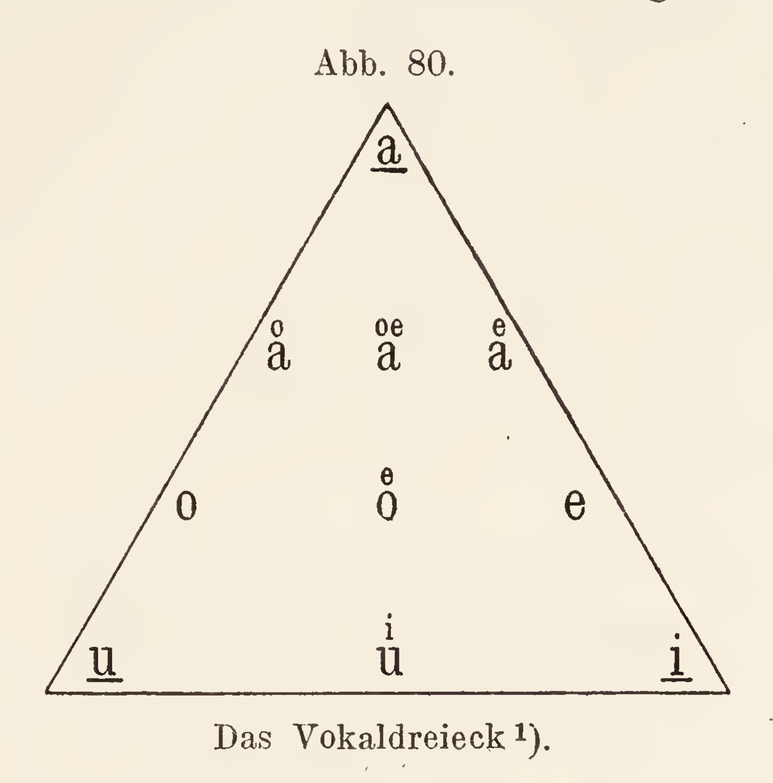
ristischste Merkmal darstellt, und bei denen nur je nach der Formung des Ansatzrohres der Klang mehr oder weniger verändert wird. Konsonanten dagegen sind diejenigen Laute der menschlichen Sprache, bei denen entweder neben der Stimme oder auch ohne die Stimme „oder sogar ohne die Atmung“ (Calzia) ein charakteristisches, für jeden einzelnen Konsonanten bezeichnendes Geräusch auftritt, mag dies Geräusch nun ein Reibegeräusch sein (wie bei dem bis jetzt besprochenen *w*), oder mag es ein Explosionsgeräusch sein, oder mag es endlich durch Zurückprallen der tönenden Luft an einigen Stellen des Ansatzrohres entstehen. Auf diese Weise ist der Unterschied zwischen Vokal und Konsonant schärfer gefaßt. C. Stumpf betont, daß unserem Ohr ja auch die nur geflüsterten Vokale durchaus als Vokale erscheinen, trotzdem sie doch sicherlich Geräusche sind. Er gibt deshalb folgende Begriffsbestimmung der Sprachlaute: **„Vokale sind sprachlich herstellbare Klänge oder Geräusche mit ausgeprägter Färbung, Konsonanten aber sprachlich herstellbare Geräusche ohne ausgeprägte Färbung.“**

b) Vokale.

Gehen wir nun zur Besprechung der einzelnen Vokale über. Wir sahen, daß man eine Verengerung des Ansatzrohres an der äußersten Stelle desselben, am Lippensaum, nur bis zum Vokal *u* bringen kann, wenn man nicht in das Konsonantengebiet übertreten und am Lippensaum ein neues, sich der Stimme beimischendes Geräusch erzeugen will. Der Vokal *u* ist demnach an dieser Stelle die Grenze des Vokalgebietes. Wenn wir den Finger über die untere Zahnreihe auf die obere Fläche der Zunge legen und nun die drei Vokale *a*, *e*, *i* hintereinander sprechen, so nehmen wir wahr, daß der Zungenrücken sich ruckweise bei *e* und noch stärker bei *i* in die Höhe hebt. Auf diese Weise entsteht zwischen Zungenrücken und Gaumen an einer weiter nach hinten gelegenen Stelle des Ansatzrohres eine Verengerung, genau in der gleichen Weise wie vorn am Lippensaum bei *u*. Heben wir nun, indem wir den Mundboden mit Daumen und Zeigefinger in die Höhe drücken, den Zungenrücken, während wir *i* sagen, so entsteht ganz gegen unseren Willen aus dem *i* ein *j*, d. h. dem austretenden Luftstrom mischt sich ein Reibegeräusch bei, und es entsteht ein Konsonant. Wir sehen also, daß der Vokal *i* an dieser Stelle die äußerste Grenze

des Vokalreiches sein muß. Demnach haben wir, von dem Vokal *a* ausgehend, zwei Vokalreihen: *a*, *o*, *u* nach der einen Seite, *a*, *e*, *i* nach der anderen Seite. Stellen wir diese Vokalreihen so dar, daß wir uns ein Dreieck zeichnen, in dessen Spitze wir den Vokal *a* und in dessen beide unteren Winkel wir die Vokale *u* und *i* einzeichnen, so ist es klar, daß in diesem Dreieck die sämtlichen möglichen Vokale der menschlichen Sprache vorhanden sein müssen. Über *i* und *u* hinaus können wir nicht gehen, weil wir dann in das Gebiet der Konsonanten kommen, die wir aus sehr wichtigen Gründen auch

Abb. 80.



Das Vokaldreieck[1]).

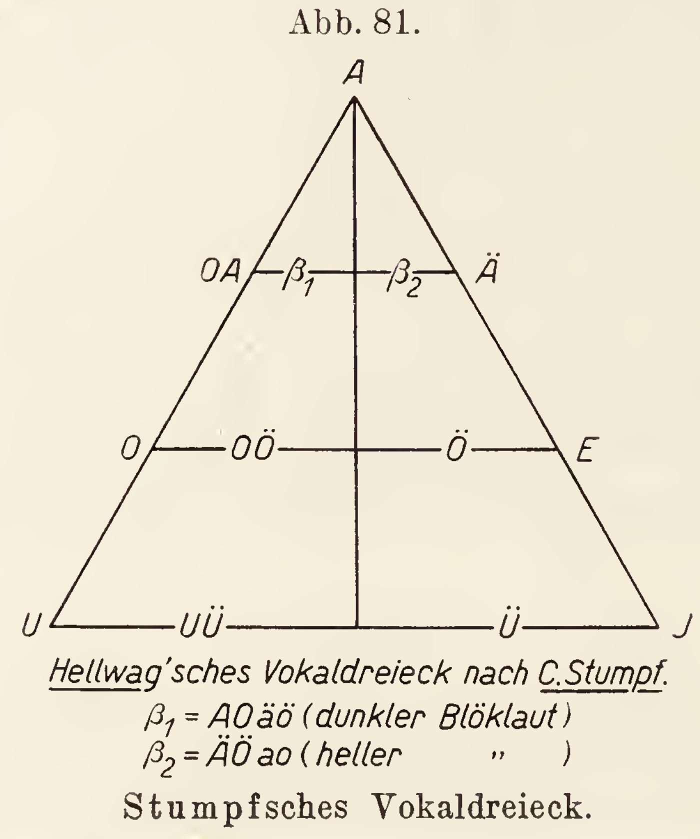
sprachphysiologisch immerhin von den Vokalen abtrennen müssen. Daß die Grenze bei *i* und *u* oft verwischt worden ist, geht auch daraus hervor, daß sehr häufig statt des *u* in alten Schriften das *v* oder *w* eingesetzt wurde, und ebenso häufig statt des *i* das *j* und umgekehrt. Da nur ein ganz geringer Schritt dazu gehört, um vom *u* bzw. vom *i* zu den Konsonanten zu gelangen, so ist diese Erscheinung in der Schrift nichts weiter, als der deutliche Ausdruck dafür, daß auch in der Sprache die scharfen Grenzen nicht immer innegehalten wurden. Das alte Hellwagsche Vokaldreieck gibt jedenfalls für die Vokale, wie C. Stumpf betont, „die möglichen Nuancen, Übergänge und Verhältnisse in überraschender Vollständigkeit wieder und ist allen anderen weitaus vorzuziehen". Stumpf gibt dem Hellwagschen Vokaldreieck eine etwas andere Form (siehe Abb. 81).

[1]) 1781 von Hellwag zuerst angegeben.

Nach Stumpf „lassen sich an dem Vokaldreieck auch die Grundeigenschaften der Vokale in einfacher und anschaulicher Weise aufzeigen:

a) Man kann sagen, *A* besitze die größte vokale Sättigung, es entferne sich am weitesten von der Linie der bloßen Helligkeiten. Und man kann überhaupt die Höhe der auf die *U*-*I*-Linie von einem Vokal aus gezogenen Senkrechten als Maß seiner vokalen Sättigung betrachten.

Abb. 81.



Stumpfsches Vokaldreieck.

b) Die Lage des Endpunktes dieser Senkrechten auf der Grundlinie gibt ferner die Stellung des Vokals in der Helligkeitsreihe. Rechts von der Mittellinie liegen die hellen Vokale, die auch Unterformanten besitzen, links davon die dunklen, die keine Unterformanten (bzw. statt derselben Oberformanten) besitzen.

c) Die Unterformanten selbst findet man überall, wenn man der Horizontallinie in der Richtung nach links bis zur linken Dreieckseite folgt. Die Länge dieser Strecke wächst wie die der ‚toten Strecken' zwischen Unterformant und Formant.

d) Selbst in Hinsicht der Klangstärke gibt das Dreieck gewisse Anzeigen: *U* und *I* sind die schwächsten, *A* ist der stärkste Vokal, d. h. man kann ihm die größte Stärke verleihen. So stellt es auch in dieser Hinsicht den Gipfel des Dreiecks dar.

e) Durch die Senkrechte zur Grundlinie dürfte auch die objektive Stärke des Grundtons angezeigt werden, indem diese Höhe der Senkrechten reziprok gesetzt werden kann."

In dem Vokaldreieck müssen also sämtliche Vokale liegen. Wie viele Vokale der Mensch überhaupt besitzt, ist nicht auszurechnen, und wenn in neuerer Zeit einige 90 Vokale aufgestellt worden sind, so darf der Erfinder dieses umfangreichen Vokalsystems (Bell) sich wohl nicht vorstellen, daß er damit sämtliche Vokale wirklich dargestellt hat; denn die Zahl der wirklich möglichen Vokale ist ganz unbegrenzt. Zwischen *a* einerseits und *i* und *u* andererseits lassen sich so zahllose Stellungen ausdenken und mit einiger Geschicklichkeit sogar auch sprechen, daß man sagen muß, eigentlich besitzt jeder sprechende Mensch seine besondere Reihe von Vokalen, die ihm persönlich zur Verfügung steht. Hiermit kommen wir auf einen Punkt, den wir vor der Besprechung der einzelnen Vokale doch noch kurz erledigen wollen. Der individuelle Klang der menschlichen Stimme ist, wenn auch die Funktion der Stimmbänder selbst naturgemäß eine große Rolle dabei spielt, im wesentlichen doch abhängig von den Tönen, die dem Kehlkopfstimmklang im Ansatzrohr beigemischt werden. Daß die Kinder- und Frauenstimmen in ihrem Unterschiede von der Männerstimme zunächst im wesentlichen auf dem Stimmklang des Kehlkopfes beruht, ist zwar selbstverständlich: die Unterschiede zwischen den einzelnen Menschen aber beruhen vorwiegend auf dem Ansatzrohr. Wenn wir die äußeren Formen des Gesichtes bei den verschiedenen Menschen betrachten und mit diesen äußeren verhältnismäßig einfachen Formen die außerordentlich verwickelten Verhältnisse des „inneren Gesichtes", wie wir sie ja aus den Abbildungen bereits kennen, vergleichen, so werden wir zugestehen müssen, daß die Möglichkeit der Unterschiede in bezug auf die inneren Gesichtszüge unendlich viel mannigfaltiger ist, als die der äußeren Gesichtszüge. Jeder Arzt, der viel Gelegenheit hat, Nasen-, Rachen- und Mundhöhle verschiedener Menschen genau zu untersuchen, weiß, welche unendliche Mannigfaltigkeit hier zu finden ist, er weiß aber auch, daß die Ähnlichkeit der äußeren Gesichtszüge beispielsweise bei Geschwistern und Verwandten sich deutlich auch in den inneren Gesichtszügen ausprägt. Es wird uns deshalb nicht wundernehmen, daß der Sprachklang bei Verwandten ähnlich ist. Je genauere Analysen man aber durch besonders dazu eingerichtete Instrumente von den einzelnen Vokalen und Konsonanten der einzelnen Personen machen kann, desto deutlicher werden die Aufschlüsse ergeben müssen, daß es unmöglich ist, alle Schatticrungen der Klänge aufzuzeichnen. Man wird sich von vornherein damit begnügen müssen, gewisse Grundstellungen festzuhalten und von ihnen aus die individuellen Abweichungen näher zu erläutern. Deshalb ist es viel besser, und jedenfalls praktischer, wenn wir bei der einfachen, von Hellwag aufgestellten Vokaltafel verbleiben. Dieselbe Ansicht vertritt auch C. Stumpf.

Darüber hinaus möchte er diese Anordnung als das **„natürliche System der Vokale"** in Anspruch nehmen, da es im Sinne J. St. Mills auf wesentliche Merkmale, d. h. solche, an die sich viele andere anknüpfen, gegründet sei.

Zwischen *a* und *o* müssen wir einen Laut unterscheiden, der zwar kein reines geschlossenes *o* darstellt, aber auch andererseits kein reines *a* hören läßt, das sogenannte $\overset{o}{a}$. Dieses $\overset{o}{a}$, das wir Deutschen nur in der kurzen Form kennen, z. B. in offen, Orden, Osten, das dagegen im Englischen

auch in der langen Form oft genug vorkommt, hat auch noch so viele verschiedene Klangfarben, daß man ganz gut drei bis vier verschiedene Arten unterscheiden kann. Man würde die vier Arten auch noch leicht mit Buchstaben so ausdrücken können, daß man die aufeinanderstehenden Laute gleich stark schreibt, oder den darüber geschriebenen etwas kleiner macht, um im ersteren Falle anzudeuten, daß die Beimischung von *a* und *o* zu gleichen Teilen geschehen ist, oder im zweiten Falle anzudeuten, daß die Beimischung von *a* größer war als die von *o*. Man kann, wenn man will, noch mehr Feinheiten auf diese Weise schriftlich darstellen. Aber diese Darstellungen sind meiner Überzeugung nach zwecklos; denn sie ersetzen nicht annähernd den akustischen Eindruck des Gesprochenen und verwirren nur die Anschauungen. Wir begnügen uns in unserer Vokaltafel mit der einfachen Darstellung $\overset{o}{a}$. Auf der anderen Seite steht zwischen *a* und *e* der Vokal $\overset{e}{a}$, der ja in dieser phonetischen Weise auch schon immer geschrieben wird; denn die beiden Strichelchen über dem *a* bedeuten nichts weiter als ein *e*. Nun gibt es zwischen den Vokalen der beiden gegenüberstehenden Seitenschenkel im Dreieck eigentümliche Beziehungen, die sich dadurch ausdrücken, daß die beiden physiologischen Stellungen zusammen einen neuen Vokal ergeben. Machen wir nämlich die Stellung bei $\overset{o}{a}$, und zwar ohne daß wir die Stimme dabei tönen lassen, und versuchen dann, ohne diese Mundstellung zu verändern, ein *ä* zu sprechen, so wird, wir mögen nun wollen oder nicht, deutlich ein *ö* erscheinen, und zwar dasjenige, das wir in den kurz gesprochenen Silben öst(lich), öff(entlich), öf(ters) usw. vernehmen. Wir schreiben diesen Vokal ganz entsprechend den beiden Komponenten, aus denen er gebildet ist, $\overset{oe}{a}$. Nehmen wir zweitens die Stellung des geschlossenen *o* an, des *o* also, das wir in den Worten Ofen, holen usw. hören, und zwar ohne daß wir dieses *o* mit Stimme aussprechen, und versuchen dann, ohne die Stellung zu verändern, ein *e* zu sagen, so wird ganz deutlich das geschlossene *ö* ertönen, welches wir in den Worten ölig, hören, tönen vernehmen. Wir schreiben dieses *ö* sprachphysiologisch richtig $\overset{e}{o}$. Beobachten wir das gleiche Verfahren mit den beiden Vokalen *u* und *i*, nehmen wir also die *u*-Stellung an, ohne das *u* zu sprechen, und sprechen dann in dieser Stellung das $\overset{i}{u}$, so wird laut und deutlich das *ü* ertönen. Natürlich gibt es auch hierbei eine große Reihe von Unterschieden. Man kann das *ü* sehr hell nach dem *i* hin sprechen, man kann es sehr dumpf nach dem *u* hin sprechen. Wir begnügen uns aber in unserer physiologischen Auseinandersetzung mit einem *ü* und schreiben es nach unserer bisherigen Darstellung $\overset{i}{u}$. Dies sind sämtliche Vokaltypen, aber nicht sämtliche Vokale. Es ist sogar sehr die Frage, ob die in dieser experimentellen Weise gebildeten Mischvokale *ä*, *ö*, *ü* überhaupt gesprochen werden. Es kann ja zufällig sein, daß gerade die genaue Mitte zwischen den beiden Hauptvokalen nicht gesprochen wird, da es deutlich ist, daß es eine unendliche Anzahl von Abstufungen geben muß. Wir begnügen uns aber mit den beschriebenen Vokalen, gerade weil sie die Resultante je zweier Komponenten darstellen. Wir haben auf diese Weise 10 Vokale.

Sokolowsky hat die Verhältnisse der Formanten der offenen und geschlossenen Vokale untersucht. Danach liegt der Formant (d. h. das Formantzentrum im Sinne von Stumpf) des offenen *o* wesentlich höher, als der des geschlossenen (a^1-e^2), also näher am *a*-Formanten (in der zweiten Oktave). Der Formant des offenen *e* liegt tiefer, als der des geschlossenen, also auch näher an *a*. Der Formant des offenen *i* liegt tiefer, als der des geschlossenen, der des offenen etwa eine Quint höher, als der des geschlossenen, beide also näher an *a*. „Die sogenannten offenen Vokale zeigen das deutliche Bestreben, sich der Indifferenzlage, der Mittelstellung des Vokals *a* zu nähern.“

Bei den Vokalen ist das Gaumensegel stets gehoben, so daß der Nasenrachenraum von der Mundhöhle abgeschlossen ist. Nur beim *a* ist ab und zu noch ein kleiner Zwischenraum vorhanden, der aber deshalb noch keinen offen näselnden Klang bewirkt. Die unmittelbaren Beobachtungen mit dem Rachenspiegel durch Pieniazek sind unrichtig angestellt, da der von ihm beobachtete Spalt offenbar von dem hängenden Teile des Gaumensegels unterhalb der Verschlußstelle gebildet wird (s. Abb. 56). Bei den offen genäselten Vokalen des Französischen wird das Gaumensegel nicht oder nicht ganz gehoben, so daß der tönende Luftstrom sowohl in die Mund- wie in die Nasenhöhle gleichzeitig eintritt. Die entgegengesetzten Angaben von Marochowetz sind völlig unverständlich; derselbe Autor meint allerdings, daß beim *n* der Luftstrom größtenteils durch den Mund entweiche und macht noch andere Angaben, die allen sprachphysiologischen Tatsachen widersprechen.

c) Die Konsonanten.

Wenn wir nach den im Eingang dieses Abschnitts auseinandergesetzten Grundsätzen die Konsonanten einteilen, so werden die den Vokalen zunächst stehenden Konsonanten die Reibelaute sein müssen; denn bei ihnen hat in der Tat die Verengerung den höchsten Grad erreicht. Die weitere Verengerung führt schließlich zum Verschluß an der betreffenden Artikulationsstelle und bedingt die Bildung der Verschlußlaute. Wird dieser Verschluß vorübergehend gesprengt und wieder gemacht, so entstehen die Zitterlaute, das *r* an den verschiedenen Artikulationsstellen; prallt endlich die ausströmende Luftsäule an der Verschlußstelle ab und entweicht durch die Nase, so haben wir es mit den Nasallauten zu tun. Aus althergebrachter Gewohnheit, und weil die Betrachtung der Reibelaute ziemlich schwierig ist, beginnen wir mit den Verschlußlauten. Alle Laute werden an drei Stellen gebildet: erstens an den Lippen, bzw. mit oberer Zahnreihe und Unterlippe, zweitens mit dem vordersten Teil der Zunge und den Zähnen und drittens mit Zungenrücken und Gaumen. Das gilt für die deutsche Sprache und die modernen Sprachen der Kulturländer überhaupt. Es gibt noch eine vierte Artikulations-

stelle, welche mit dem Zungenrücken und der hinteren Rachenwand gebildet wird, doch findet sich diese vorwiegend nur in den semitischen Sprachstämmen.

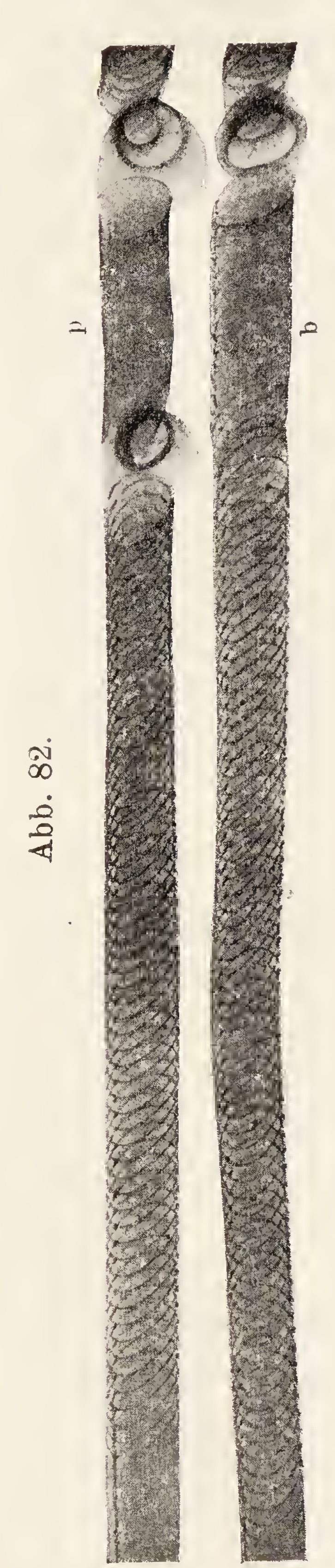


Abb. 82.

1. Verschlußlaute, Media und Tenuis.

Die Verschlußlaute an den drei Artikulationsstellen sind erstens *b* und *p*, zweitens *d* und *t*, drittens *g* und *k*. Wir sehen, daß jedesmal einem weichen Laut ein harter gegenübersteht, und pflegen daher die drei weichen Laute *b*, *d* und *g* als Mediae (d. h. mittlere) den drei harten Lauten *p*, *t*, *k* als Tenues (d. h. dünne) gegenüberzustellen. Von jeher hat man über den Unterschied zwischen beiden gestritten. Auch die neueren Arbeiten über Sprachphysiologie zeigen, daß dieser Streit durchaus noch nicht endgültig beigelegt ist. Zum Teil liegt es daran, daß die verschiedenen Beobachter und Untersucher verschiedenen Sprachstämmen und sogar verschiedenen Nationalitäten angehört haben. Wenn man weiß, wie selbst in Deutschland in verschiedenen Gegenden die Media und Tenuis ganz verschiedenartig gemacht wird, so wird man sich nicht wundern, in den Auseinandersetzungen von Ausländern Dinge zu lesen, die man als Deutscher nicht versteht. Wir werden uns bei der Anführung dieser Unterschiede auf die wichtigsten Hauptpunkte beschränken.

In der Hauptsache werden als allgemein anerkannte Unterschiede aufzustellen sein:

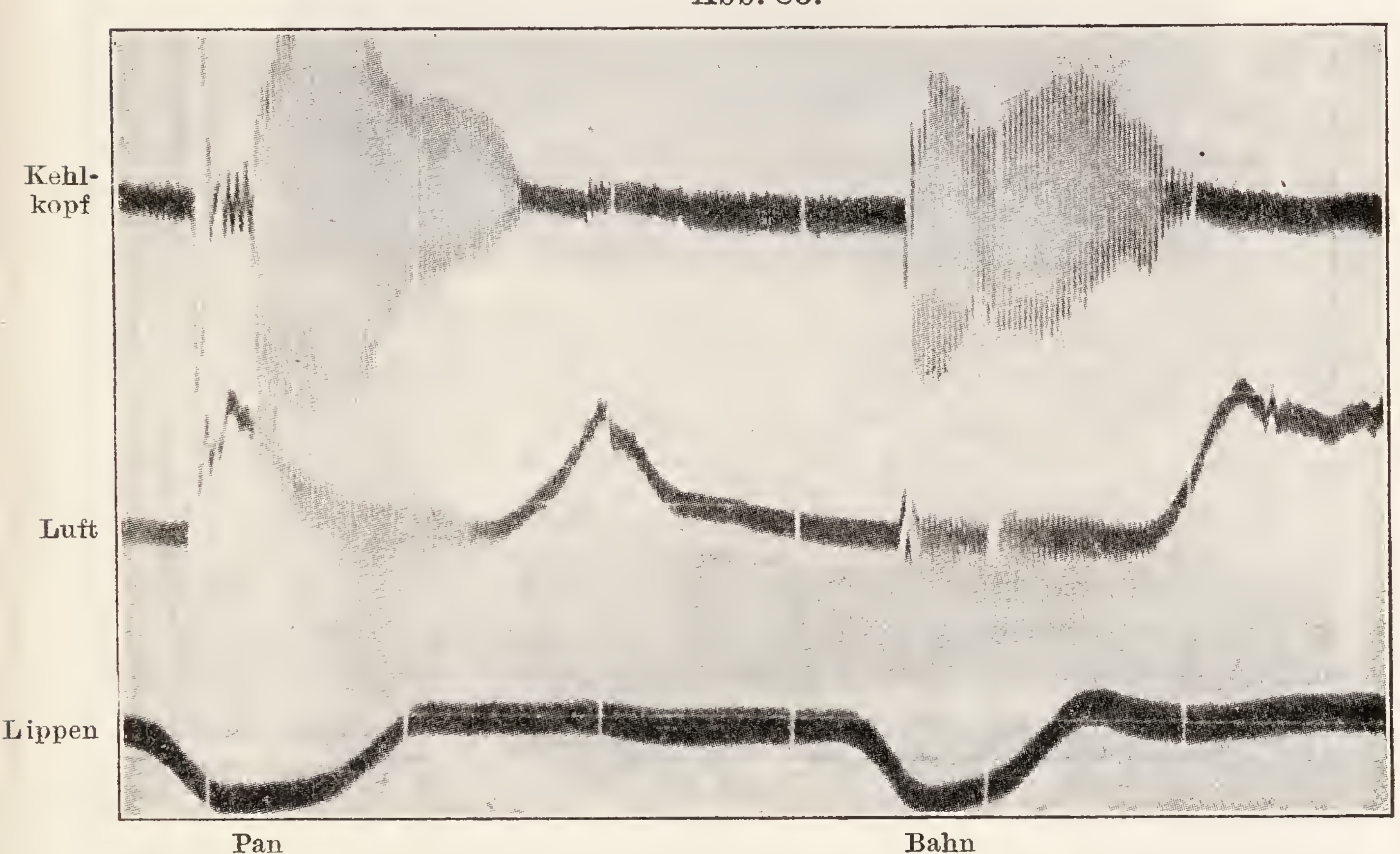
1. Die Tenuis ist tonlos, bei der Media ist die Stimmritze zum Tönen verengt oder tönt bereits bei der Bildung des Lautes (siehe Rußabbildungen, Abb. 82, und John Seemann, S. 71).
2. Die Konsistenz der Verschlußteile ist bei der Media weich, bei der Tenuis hart.
3. Die Berührungsflächen sind bei der Media groß, bei der Tenuis klein — was durch Abdrücke auf berußten Flächen leicht zu erweisen ist (Abb. 84) — und
4. die Aufhebung des Verschlusses erfolgt bei der Media mehr aktiv, bei der Tenuis mehr passiv (Media — Lösungslaut, Tenuis — Sprenglaut nach Sievers).

Die übrigen Unterschiede sind wohl mit Recht von Brücke u. a. als sekundäre angesehen worden, so die größere Stärke des Ausatmungsdruckes bei der Tenuis u. a. m.

Ohne Frage bestehen phonetische Unterschiede zwischen Tenuis und Aspirata. Wir sprechen im Deutschen in der Tat nur die Aspirata, d. h. die tonlose Explosion, gefolgt vom gehauchten Vokaleinsatz.

J. Seemann hat mit den schon erwähnten Frankschen Kapseln an ausgezeichneten Kurven den aspirierten Charakter der deutschen Tenuis einwandfrei nachgewiesen. Ich gebe die Kurven hier wieder (Abb. 83). Bei dem Worte Pan sieht man zunächst eine sehr steile Zacke, die aber nach Seemann noch keine Stimmlippenschwingung wiedergibt, sondern nur das nach rückwärts fortgeleitete Explosionsgeräusch. (Eine ähnliche Zacke findet sich bei dem Worte Bahn, und Seemann neigt infolgedessen, „entgegen der landläufigen Annahme, daß die Mediae mit Stimme tönen, für die deutsche Aussprache wenigstens der entgegengesetzten Auffassung zu".)

Abb. 83.



Auf die steile Anfangszacke ($^1/_{50}$ sec) bei dem Worte Pan folgen dann einige niedrige breite Zacken ($^3/_{50}$ sec), und danach erst geht die Kurve in die Vokalschwingungen des *a* ($^1/_4$ sec) über, denen sich dann die *n* Schwingungen ($^1/_{50}$ sec) anschließen. Dem eigentlichen *P* schließt sich also ein rauhes *h* an, das ja auch meist deutlich gehört wird.

Die eigentliche Tenuis wird so gebildet, daß zugleich mit der Öffnung des Artikulationsverschlusses eine Öffnung des Stimmritzenverschlusses erfolgt. Derartige Verhältnisse lassen sich auch graphisch darstellen, wenn man den Luftdruck hinter der Artikulationsstelle gleichzeitig mit dem durch die Explosion erfolgten Luftdruck aufnimmt. Zeigt sich eine Druckerhöhung im Munde schon wesentlich vor letzterem, so muß man ein Offenbleiben der Stimmritze annehmen, und wir haben es dann mit der aspirierten Tenuis zu tun. Erfolgen die beiden Druckausschläge dagegen gleichzeitig, so handelt es sich um eine reine Tenuis.

Bezüglich der Artikulation der einzelnen Verschlußlaute sei kurz nur folgendes angeführt:

P und *B*: Lippenschluß und Lippenöffnung.

T und *D*: 1. Dentale Bildung; Zungenrand legt sich an die obere Zahnreihe.
2. Alveolare Bildung; Zungenrand legt sich an den Alveolarrand des Oberkiefers, also wo die Zahnwurzeln eingebettet sind.
3. Dorsale Bildung; die Zungenspitze liegt an der unteren Zahnreihe, der Verschluß wird mit dem vordersten Teile des Zungenrückens gemacht.

Abb. 84.



K und *G*: Zungenrücken bildet am harten oder am weichen Gaumen den Verschluß, vorderes (*ke*, *ki*, *ge*, *gi*) oder hinteres (*ka*, *ko*, *ku*, *ga*, *go*, *gu*) *K* bzw. *G*.

2. Reibelaute.

Einen Überblick gibt die beistehende Tabelle.

Ein richtiges *s* wird gebildet, indem ein von Zunge und Gaumen geformter feiner Luftstrahl — die Zunge bildet dabei in ihrem vorderen Teil eine tiefe Rille — auf die Mitte der ziemlich genau aufeinandergestellten Schneidezahnkanten geblasen wird. Die Zungenspitze liegt dabei hinter der unteren Zahnreihe; das dabei dort entstehende scharfe Reibegeräusch ist das scharfe *s*. So wenigstens wird das scharfe, richtige *s* in der deutschen Sprache gebildet. Gelegentlich finden sich auch andere Bildungen, so besonders mit der Zungenspitze hinter der oberen Zahnreihe. Die Reibung der Luft erfolgt dann nicht zwischen beiden Schneidezahnkanten, sondern zwischen Zunge und Gaumen bzw. Rückwand der oberen Schneidezähne. Auch hierbei ergibt sich der akustische Eindruck eines *S*-Lautes, der aber deutlich weicher klingt als das richtig gebildete *s* (Grützner).

Bezüglich des *S*-Lautes sei noch folgendes bemerkt.

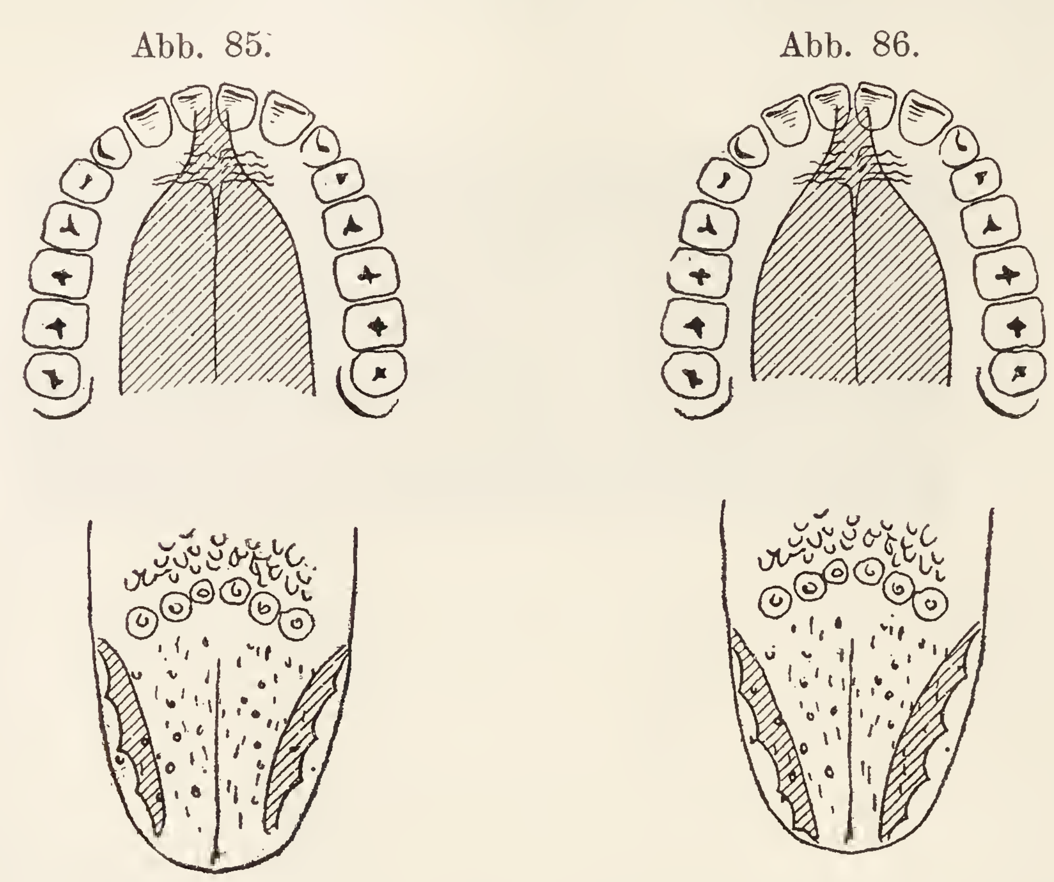
Wenn man den Gaumen samt der inneren Fläche der Zähne mit ultramarinblauer Aquarellfarbe angetuscht und dann ein *s* gesprochen hat, so sehen wir am Gaumen die Berührungsstellen negativ, d. h. ohne Farbe, und gleichzeitig die Färbung derjenigen Zungenteile, welche die Anlagerung bewirken. Bei dem ersten *s* reicht diese Färbung nur bis etwa 1 cm von der Zungenspitze, bei dem zweiten *s* bildet fast der Zungenrand selbst die Anlagerung, und es reicht demnach die Färbung nahezu bis zur Zungenspitze. (Man sehe die Abb. 85 und 86.)

Reibelaute.

	Artikulation	Direktion des Luftstromes	Stimmlippen	Bemerkungen
F	Obere Zahnreihe—Unterlippe	Mitte der Unterlippe	In der Hauchstellung	In afrikanischen Sprachen kommt auch ein bilabiales *F* vor
W	a) „ „ „ b) Beide Lippen einander genähert	„ „ „	Tönend	—
SS (scharfes *s*) .	Lippen breit offen. Zahnreihe aufeinander oder genähert. Zungenspitze: Hinter der unteren Zahnreihe. Seitenteile der Zunge am Alveolarrand. In der Mitte bildet die Zunge eine Rille. Je schärfer das *s*, je tiefer die Rille (Fröschels).	Mitte der unteren Zahnreihe	Hauchstellung	Näheres siehe weiter unten. Beim englischen *Th* fehlt die Konzentration des Luftstromes auf die Mitte. Zwischen vorderem Zungenrand und oberer Zahnreihe entsteht ein breites sanftes Reibegeräusch. Es ist nicht notwendig, dazu die Zungenspitze zwischen der Zahnreihe hervorzustrecken
S (weiches *s*)	„	„	Tönend	—
Sch (deutsch)	Zahnreihen wie bei *s*. Zunge weiter nach hinten. Lippen rüsselartig vorgeschoben.	Zuerst in der Mittellinie des harten Gaumens. Dann auf die unteren Schneidezähne	Hauchstellung	—
J (französisch)	„	„	Tönend	—
Ch (vorderes und hinteres)	Zungenspitze hinter der unteren Zahnreihe, hintere Seitenränder der Zunge am Alveolarrand, Mittellinie der Zunge bildet mit hartem (vorderes *ch*) oder weichem (hinteres *ch*) Gaumen eine breite Rille. Lippen zurück, oder indifferent offen. Zahnreihen offen.	Mittellinie des harten bzw. weichen Gaumens	Hauchstellung	—
J (deutsch) .	Wie vorderes *ch*.	„	Tönend	—

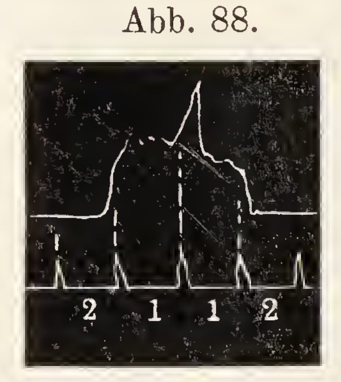
Nimmt man zur Prüfung der Luftstromrichtung nach Gutzmann sen. (1909) eine an einen Gummischlauch angesetzte Röhre und verbindet den Gummischlauch mit einer Mareyschen oder Engelmannschen Schreibkapsel, so erhält die Kapselmembran jedesmal einen Stoß, sowie Luft in den Schlauch tritt. Er ließ den Takt eines Metronoms auf eine berußte Trommel aufzeichnen und ging sodann bei jedem Taktschlage mit der Röhre vom linken unteren Prämolarzahn beginnend immer um eine Zahnbreite weiter nach rechts, bis

Abb. 85. Abb. 86.



diese am rechten ersten Prämalorzahn angekommen war; so bildeten sich, je nach der individuellen Aussprache des *s*, an der Mitte der unteren Zahnreihe verschieden gestaltete Kurven. Die Aussprache ist teils durch Sprachgewohnheiten, teils durch die Gaumenform bedingt (Reichenbach). Die aufgezeichneten Metronomschläge stellten in der Kurve gleichsam die Zahnreihe dar, und es zeigt sich, daß bei normal gebildetem *s* der Luftstrom sich zwar am höchsten meist ziemlich genau in der Mitte der unteren Zahnreihe erhob, daß dagegen die gesamte Luftabströmung beim normalen *s* sich auf die beiden mittleren unteren Schneidezähne, ja sogar teilweise noch etwas darüber hinaus erstreckte. Man bekommt also auf diese Weise eigentümliche Bilder des *s*, und es mag nebenbei erwähnt werden, daß bei derselben Person auch nach längerer Zeit stets nahezu dieselbe Kurve bei diesem Verfahren erscheint.

Abb. 87. Abb. 88.



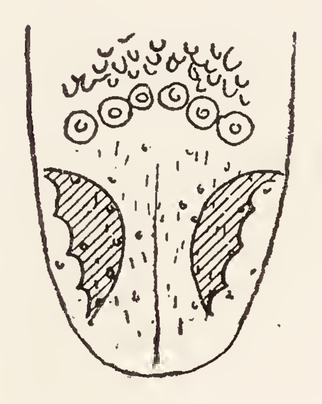
Aus dem normalen *s* kann man sehr leicht den *sch*-Laut entstehen lassen, wenn man während der Aussprache des lang zischenden *s* durch irgend ein Mittel die Zungenspitze nach hinten schiebt. Gutzmann sen.

pflegte das so zu machen, daß er an dem Ende eines Nickelindrahtes einen kleinen, ungefähr 1 cm im Durchmesser haltenden Ring bildete und nun den übrigen Draht senkrecht zur Ebene dieses Ringes abknickte. Faßte er dieses kleine Instrumentchen mittels dieser Handhabe, ließ bei Beginn der *s*-Bildung den Nickelring zwischen Zungenspitze und vorderer Zahnreihe ruhen, und schob nun mittels des Ringes die Zungenspitze gerade nach hinten, so wurde stets aus dem *s* ein deutliches *sch*. Färbt man nach dem von Gutzmann sen. abgeänderten Grütznerschen Verfahren, so bemerkt man, daß die Enge, durch welche die Luft zu entweichen hat, beträchtlich nach hinten gerückt ist, sowohl am Gaumen wie an der Zunge selbst. Das hat auch Reichenbach neuerdings wieder zeigen können.

Man kann wohl sagen, daß die geschilderte Zungenstellung (die Zahnstellung bleibt so wie beim *s*) das Wesentliche der *sch*-Bildung ist. Der eigentümliche volle, saftige Geräuschcharakter dieses Lautes wird dadurch verstärkt, daß der Luftstrom, nachdem er den Zaun der Zähne durchbrochen hat, in den durch Vorschieben der Lippen verlängerten Vorraum der Mundhöhle (Atrium oris) gelangt. Wie man sieht, durchstreicht er also zwei voneinander durch die Zahnreihen nahezu getrennte Räume.

Abb. 89.





Der erste Raum liegt zwischen vorderster Zungenfläche und hinterer Fläche der vorderen Zahnreihen, der zweite Raum zwischen Vorderfläche der Zahnreihen und Lippensaum. Es ist nur natürlich, daß wir bei der oben genannten Untersuchung des Luftdruckes an den gesamten Schneidezähnen einen Ausschlag erhalten, der meist sogar schon am ersten Prämolarzahn beginnt und beim ersten Prämolarzahn der anderen Seite endet (siehe Abb. 89).

Beim vorderen *ch* reibt sich die Luft zwischen Zunge und hartem Gaumen. Die Breite des Luftstromes reicht vorn etwa von Eckzahn zu Eckzahn. Dahinter verhindert die an die Mahlzähne gepreßte Zunge ein seitliches Entweichend er Luft. Die Rille in der Zunge verengert sich also nicht, wie beim *ss* und *sch*, sondern erweitert sich sogar trichterförmig (Reichenbach). Hervorzuheben ist, daß bei norddeutschen Mundarten die Bildungsstelle des vorderen *ch* beträchtlich weiter vorn liegt, als bei süddeutschen (Reichenbach). Je weiter die Bildungsstelle des *ch* nun nach hinten verlegt wird, desto mehr ähnelt das vordere *ch* dem hinteren, bis dieses so weit nach hinten liegt, daß bei gleichzeitigem Anlauten der Stimme das Gaumen-*r* erklingt.

3. *L*-Laute.

Eine eigenartige Stellung nehmen die *l*-Laute ein. Unser deutsches *l* gehört seinem Klange nach überhaupt nicht zu den Konsonanten, wie wir das auch schon früher auseinandergesetzt haben. Wir hören bei dem *l* in der Tat

keine Spur von irgend einem Reibegeräusch und keine Spur von irgendwelchem Geräusch überhaupt. Das *l* ist rein vokalisch. Wenn wir es trotzdem unter den Konsonanten weiter aufführen, so liegen dafür zwingende grammatische Gründe vor, auf die wir hier nicht näher eingehen. Das *l* wird so gebildet, daß die Zungenspitze hinter die obere Zahnreihe angestemmt wird, während die Seitenteile der Zunge die Zähne nicht berühren. Auf diese Weise entsteht seitlich zwischen Zahnreihen und seitlichem Zungenrand eine ovale Öffnung, der durch den Mund entweichende Luftstrom wird also, was ganz einzig in der Sprachphysiologie dasteht, durch die sich ihm entgegenstellende Zunge in zwei Teile gespalten; die eine Hälfte verläßt den Mund am linken Mundwinkel, die andere am rechten. Durch die Nase geht dabei keine Luft. Übrigens wird das *l* mitunter auch einseitig (lateral) gesprochen. Wenn wir die Zunge ein ganz klein wenig heben, so daß die seitlichen Zungenränder sich den seitlichen Zahnreihen etwas mehr nähern, so hören wir, wie allmählich ein Geräusch entsteht, und lassen wir nun die Stimme weg, so haben wir in der Tat einen tonlosen Reibelaut, den wir mit Doppel-*l* schreiben wollen. Dieses *ll* zu Anfang des Wortes haben wir beispielweise in dem keltischen Familiennamen Lloyd. Seitliche Zischlaute kommen in afrikanischen Sprachen vor.

Das polnische ł wird so gebildet, daß die Zunge nach hinten herumgeschlagen und in dieser an die sogenannte zerebrale Bildung des *d* und *t* erinnernden gezwungenen Stellung möglichst weit nach hinten gezogen wird. Auf diese Weise entsteht ein eigentümlicher, dem *u* ähnlicher Laut. Das russische harte *l* dagegen wird so gebildet, daß das Zäpfchen sehr fein auf den etwas erhobenen Zungengrund gesetzt wird. Auf diese Weise wird der austretende Luftstrom durch das Zäpfchen in zwei Teile zerlegt.

Das englische *l* ist tiefer gelegen als das deutsche. Die Zungenspitze hebt sich dabei steil in die Höhe, so daß sie sich gegen die Mitte des harten Gaumens stützt. Daß dadurch gleichzeitig der Zungengrund nach hinten geschoben wird, ist die Ursache von dem eigentümlich klossigen Klang des englischen *l*.

Auch im Norden Deutschlands, in Pommern und besonders in Ostpreußen ist ein ähnliches *l* mit steil gerichteter Zungenspitze in der Mundart vorhanden.

4. *R*-Laute.

Gehen wir nun zur vierten Klasse der Konsonanten über, so charakterisiert sich diese dadurch, daß ein Verschluß durch eine schnelle Aufhebung des Verschlusses mehrmals unterbrochen wird, und zwar geschieht diese Aufhebung des Verschlusses immer so, daß die Teile dabei ihrer Elastizität überlassen bleiben, und nicht selbständige aktive Muskelbewegungen vollführen. Wir nennen diese Laute *r*-Laute und unterscheiden nach den drei Artikulationsgebieten drei Arten derselben: das Lippen-*r*, das wir als sogenanntes „Brummlippchen" der Kinder häufig hören, und das ebenso wie die Schnalzlaute des Kindes in der Sprache der Erwachsenen nur noch als Überbleibsel vorkommt für Gefühlsausdrücke, z. B. des Abscheues, des Ekels oder auch zum Ausdruck des bitteren Geschmackes. Weil dieses *r* von den Kutschern gebraucht wird, um die Pferde anzurufen, nennt man es auch Kutscher-*r*. Das zweite *r* wird so gebildet, daß die Zungenspitze sich dem vordersten

Teile des Gaumens bzw. den oberen Schneidezähnen etwas nähert, und zwar genau so wie bei der Stellung des *d*. Sie gleitet aber an dieser Artikulationsstelle sehr flüchtig vorbei, bzw. berührt sie, je nachdem man das *r* lang oder kurz macht, häufiger oder seltener. Das *r*, das wir gewöhnlich mit der Zungenspitze sprechen, hat kaum mehr als zwei bis höchstens drei Schläge, oft nur einen. Das dritte *r* besteht eigentlich aus zwei Unterarten, und man nennt es je nach seiner Bildungsstelle Gaumen-*r* oder Zäpfchen-*r*. Das Gaumen-*r* wird so gebildet, daß der weiche Gaumen sich gegen den Zungengrund legt und nun zwischen diesen beiden weichen Platten die ausströmende Luft hindurchdrängt, sie auseinanderdrückt, sie wieder zusammenfallen läßt, sie wieder auseinanderdrückt, sie nochmals zusammenfallen läßt, kurz, in dieser Weise den austretenden Luftstrom mehrfach unterbricht, es sei denn, daß überhaupt nur ein Reibelaut entsteht. Das Zäpfchen-*r* dagegen wird so gemacht, daß sich dabei der Zungengrund nur als Gegenlager beteiligt; das Zäpfchen hängt dabei auf den Zungengrund herab, wird von austretenden Luftstrom in die Höhe geschleudert, sinkt wieder herunter, und so wiederholt sich das Spiel, je nachdem, wie lang man das *r* macht, in der Regel fünf sogenannte Schnurroszillationen (Hermann).

5. Nasallaute.

Die letzte Klasse der Laute besteht endlich aus den sogenannten Nasallauten oder Resonanten. Nasallaute werden sie genannt, weil der Gaumensegelverschluß bei ihnen aufgehoben ist, und der Luftstrom durch die Nase nach außen entweicht, nicht etwa, wie man das ab und zu hören und lesen kann, weil sie nasal klingen. Resonanten heißen sie, weil die drei Verschlußstellen der drei Artikulationsgebiete gewissermaßen den ausströmenden Luftstrom anprallen lassen und ihn resonierend wieder zurückwerfen. Wir empfinden, wenn wir den ersten dieser Resonanten, das *m* machen, ein deutliches Zittern am Lippensaum; wir nehmen das gleiche Zittern an der Zungenspitze wahr, wenn wir das *n* sprechen, und ebenso an der dritten Artikulationsstelle beim dritten Laut $ng = \eta$. C. Stumpf macht noch ausdrücklich den Unterschied zwischen stimmhaften Nasallauten, die er zu den Vokalen rechnet, und stimmlosen, die er geradezu Nasalkonsonanten nennt.

6. Laute des vierten Artikulationssystems.

Durch Anlegen des Zungengrundes an die hintere Rachenwand entstehen Reibe- und besonders Verschlußlaute, welche einen eigentümlich gutturalen Klang haben. Diese finden sich in den semitischen und in den afrikanischen Sprachen.

7. Kehlkopflaute.

Im Kehlkopf können die folgenden konsonantischen Laute gebildet werden, deren Bildungsweise schon beschrieben wurde: 1. Hauchen, ein sehr leiser Reibelaut. 2. Flüstern, ein stärkerer Reibelaut. 3. Der Stimmknall, Glottisschlag (Coup de glotte), der beim festen Vokaleinsatz hörbar wird, und auch am Ende eines Vokales bei verschiedenen Sprachen als Kehlkopfstoßlaut bekannt ist.

8. Schnalzlaute (Clixe).

Diese Laute, die in einigen afrikanischen Sprachen vorkommen, werden dadurch gebildet, daß die äußere Luft an irgend einer Stelle des Mundes durch eine Verschlußstelle in die Mundhöhle gezogen wird. Das Einziehen der Luft geschieht nicht etwa durch eine Einatmung, sondern durch Saugbewegungen. Die Mundhöhle ist während der Bildung nach hinten durch Zungengaumenschluß abgesperrt. Die Sprechausatmung ist nur einen Augenblick aufgehalten, so daß die Schnalzlaute bei einiger Übung ohne Mühe mit Vokalen verbunden werden können. Scheinbar können Clixe auch mit Stimme gebildet werden, indem gleichzeitig mit dem Schnalz der dritte Nasallaut gebildet wird: in einigen Worten der Nama-Hottentotten wahrscheinlich auch im *ng* des „Ngamisees“. Panconcelli-Calzia hat das experimentell bestätigt.

d) Die Sprachlaute in der Verbindung und die „Artikulationsbasis“.

Wir haben in der bisherigen Schilderung uns vorwiegend mit den Lauten der hochdeutschen Aussprache (Bühnendeutsch) beschäftigt. Schon in den einzelnen deutschen Mundarten treten nicht nur wesentliche Veränderungen der Laute ein, sondern auch die gesamte Sprache verändert ihren Klang durch Gesamtänderung der Form des Ansatzrohres: Artikulationsbasis (Sievers und Franke), die Gesamteinstellung des Ansatzrohres zum Sprechen.

Die folgenden Ausführungen gelten nur unter der Voraussetzung der Paulschen Definition, daß das immer nur eine „ganz bestimmte Lagerung der beweglichen Teile des zur Ausführung von Sprachbewegungen bereiten und fixierten Sprechorgans“ sei, die er die „Grundstellung des tätigen Sprechorgans“ nennt. Er betont ausdrücklich, daß er sie nicht mit der Ruhelage verwechselt wissen will!

Sehr auffallend wird diese Veränderung bei fremden Sprachen. Sievers hat zuerst auf diese wichtige Tatsache aufmerksam gemacht, die besonders für die vergleichende Phonetik nicht außer acht gelassen werden darf. Viëtor gibt gegenüber dem Deutschen die Eigenschaft der englischen Artikulationsweise folgendermaßen an: „Die Zunge wird gesenkt, zurückgezogen und verbreitert (abgeflacht), mit Neigung zur konkaven Vertiefung der Vorderzunge, der Unterkiefer schiebt sich etwas nach vorn. Die Lippen beteiligen sich nur wenig an der Lautbildung; sie werden zwar mäßig gerundet, aber weder vorgestülpt noch nennenswert gespreizt (es gilt geradezu als Regel, die Lippen möglichst wenig zu bewegen); der Mund ist nur mäßig geöffnet. Der Kehlkopf steht tief (?) und die Stimme

hat einen dunklen, beinahe dumpfen Klang und wenig Modulation. Die Ausatmung verläuft entschieden decrescendo.“ Nach der entgegengesetzten Richtung bewegt sich die französische Artikulationsweise: „Die Zunge neigt zu vorgeschobener, enger und bestimmter Artikulation. Die Lippentätigkeit ist ausgeprägt und äußert sich teils im Runden und Vorstülpen oder im Spreizen der Lippen, teils in energischem Öffnen des Mundes. Bei hohem Kehlkopfstand (?) klingt die Stimme klar und hell; die Modulation läßt die Intervalle verhältnismäßig deutlich hervortreten. Die Exspiration ist gleichmäßiger als im Deutschen und Englischen und neigt zum crescendo... Eine Eigentümlichkeit ist die häufige Nasalierung der Vokale (vor ehemaligen Nasalkonsonanten).“ Man vergleiche hierzu Storm, Sweet und Beyer.

Über diese Verhältnisse unterrichtet man sich am schnellsten durch einen Blick auf folgende Tabelle.

Übersicht über die allgemeinen phonetischen Merkmale.

	Deutsch	Englisch	Französisch	Italienisch
Lippen	Starke Bewegung. Gute Vorstülpung	Sehr geringe Bewegung. Niemals Vorstülpung	Sehr starke Bewegung. Starkes Vorstülpen und Zurückziehen	Starke Lippenbewegungen. Kräftiges Vorstülpen und Zurückspreizen
Zunge	Mittlere Lage	Weit zurückgezogen, sowohl die Spitze wie die Basis	Weit nach vorn gedrängt	Zunge artikuliert weit nach vorn
Unterkiefer	Mäßig bewegt	Schiebt sich im ganzen etwas nach vorn	Starke Bewegung. Große Öffnung	Mäßige Bewegung
Kehlkopf	Coup de glotte (Glottisschlag) sehr häufig im Anlaut. 3 Einsätze	Coup de glotte fehlt völlig (außer Nordengland). 2 Einsätze	Coup de glotte ist selten. Gehauchter Einsatz sehr selten	Ohne jeden Coup de glotte. Gehauchter Einsatz fehlt

Werden so schon alle Sprachlaute durch die gemeinsame Artikulationsbasis beeinflußt, so beeinflussen sie einander noch viel mehr in der Lautverbindung.

1. Doppelvokale und Doppelkonsonanten.

Die Doppelvokale hat Merkel gut charakterisiert. Wir haben im Deutschen deren drei: *au*, *ai* (= *ei*) und *oi*, *aü* (= *eu* oder *äu*). Bei den Doppelvokalen nimmt der erste Vokal den größten Wert an, der

zweite tritt an Dauer und Stärke weit zurück. Der erste Vokal ist demnach der silbenbildende (silbische), der zweite ist unsilbisch. Zwischen beiden Vokalen steht ein Übergangslaut (Gleitlaut, Glide), über den schon früher gesprochen wurde.

Bei den Doppelkonsonanten ist der dem folgenden silbischen Vokal am nächsten stehende auch derjenige, der die größte Artikulationsenergie auf sich zieht. So ist in den Wörtern: Stuhl, Stab, Spiel, spät, schwer, schmal u. a. der sehr laut hörbare *sch*-Laut doch mit weit geringerer Artikulationsenergie gebildet, als das ihm folgende *t* bzw. *p*, *w*, *m* usf. Kleine Kinder lassen infolgedessen beim Sprechenlernen den ersten Laut fort und sprechen nur den dem silbenbildenden Vokal unmittelbar voranstehenden Konsonanten: Tuhl, Tab, Piel usw. Diese Beobachtung stimmt mit der von E. A. Meyer experimentell gefundenen Tatsache, daß der stärkste Druck in dem die Silbe einleitenden Konsonanten, also etwas vor dem Silbenvokal liegt, gut überein (siehe Meyer, Metrik).

Die Laute wirken nun durch ihre Artikulationen auch mehr oder weniger verändernd aufeinander ein. Ausführlich kann hier auf diese überaus bemerkenswerten Beziehungen nicht eingegangen werden, da sie der speziellen Phonetik angehören. Es wird genügen, nur einige Regeln herauszuheben. Wohl die wichtigste Tatsache ist die, daß wir beim Sprechen nach dem Grundsatz der geringsten Anstrengung und der Sparsamkeit in der Bewegung verfahren: treten zwei Laute aneinander, so werden die ihnen gemeinsamen Bewegungen und Stellungen nur einmal ausgeführt. Besonders bemerkbar ist dies bei sogenannten „homorganen“ Lauten. Man beobachte die Lautverbindungen in den Worten: und, Hand, Mund, Lampe, halt, ferner das Aneinandertreten von Endlauten mit Anfangslauten: unddu, nottun, hastdu, wenndu, vonneuem usf. Sehr häufig sind die engen Verbindungen von Verschluß- und Reibelauten (Affricatae) *pf*, *ts* = *z*, *ks* = *x*, *ps* = *ψ*, die vielfach eigene Buchstaben in der Schrift erhalten haben. — Fernere charakteristische Erscheinungen sind: die Ausdehnung der Artikulationsbewegung auf den vorhergehenden und folgenden Laut (man denke an die je nach dem anliegenden Vokal ganz verschieden gebildeten *g*, *k*, *ch*), die Beeinflussung der Stimmhaftigkeit, je nachdem der benachbarte Laut stimmhaft oder stimmlos ist, die Mouillierung (Palatisierung), die Rundung (Labialisierung) (erstere durch benachbartes *e* und *i*, letzteres durch benachbartes *u* und *o*) und endlich die sehr wichtige und beachtenswerte Nasalierung der Vokale durch benachbarte Nasallaute. Für das Italienische hat Panconcelli-Calzia diese Nasalierung in genauer Arbeit nachgewiesen. Auch im Deutschen werden besonders kurze Vokale von den folgenden

Nasallauten nasaliert. So macht Grützner darauf aufmerksam, daß das *O* des Wortes Onkel deutlich nasal sei. Übrigens sollte die experimentelle Phonetik bei Deutung der Nasalkurven recht vorsichtig sein. Daraus, daß in der nasalen Kurve eine Vibration auftritt, darf nicht gefolgert werden, daß der betreffende Laut nasal sei, da von einer einigermaßen empfindlichen Kapsel auch die Vibrationen des Gesichts wiedergegeben werden. Nur aus einer gleichzeitigen Erhebung der Nasalkurven über die Nullinie kann ein Offenbleiben des Gaumensegelverschlusses gefolgert werden. In dieser Hinsicht bedürfen eine große Anzahl der experimentell-phonetischen Untersuchungen sorgfältiger Nachprüfung.

Neuerdings hat I. W. Kaiser mit einem Wassermanometer gezeigt, daß beim Übergang von einem Nasen- zu einem Mundlaut und umgekehrt der Gaumensegelverschluß bzw. die Öffnung immer in der Weise erfolgt, daß die vorausgehenden Laute von dem folgenden beeinflußt werden.

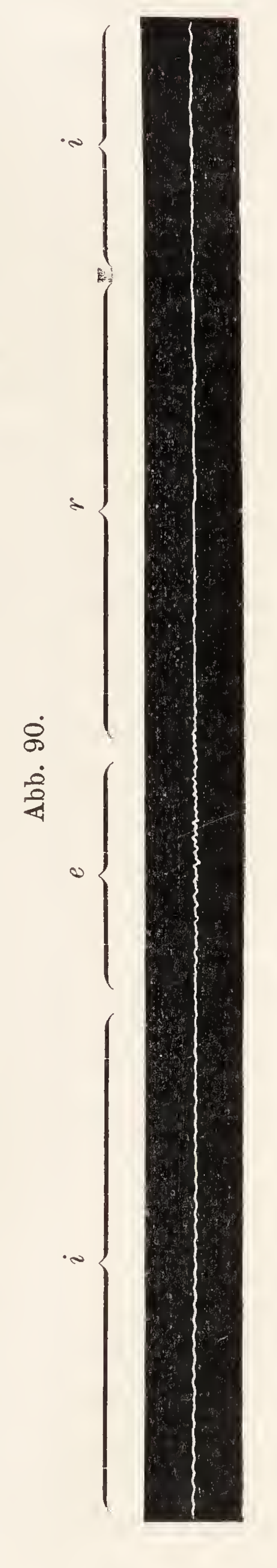


Abb. 90.

Um den Grad (Phonoposotie) und den Ort (Phonotopie) der Stimmhaftigkeit so zu messen, daß alle Ergebnisse zahlenmäßig dargestellt werden können, und dadurch ohne weiteres vergleichbar werden, hat Panconcelli-Calzia ein besonderes Verfahren ersonnen, das er Phonoposoto- bzw. Phonotopometrie nennt. Hentrich, Meriggi u. a. haben mit diesem Untersuchungsverfahren einige Teilvorgänge des Sprachablaufs klären können.

Wenn den Verschlußlauten Dauerlaute folgen, kommen vielfach völlige Umänderungen der Explosion zustande. So tritt eine seitliche Explosion in den Verbindungen *dl*, *tl*, *nl*, eine nasale Explosion bei *pm*, *tn*, *kn* nicht selten ein.

Besonders eigentümlich ist die Beeinflussung der Vokale durch nachfolgendes *r* (Viëtor, S. 301). Die hier abgebildete Kurve von *iri* hat Gutzmann sen. mit einem kleinen, nach dem Hensenschen Prinzip gebauten Sprachzeichner erhalten. Man sieht zuerst die sinusartige Kurve des *i* (in der übrigens unter dem Mikroskop zahlreiche Zäckchen erscheinen), dann folgt eine deutliche Umwandlung des *i* in *e* und dann erst die Unterbrechung des *r*. In Wirklichkeit wird also

nicht *iri*, sondern *i(ë)ri* gesprochen. Wethlo betont, daß besonders im Kunstgesang das Gaumen-*R* den vorangehenden Vokal verdumpfe.

2. Silbe, Wort, Satz.

Eine einfache Begriffsbestimmung für die Bezeichnung „Silbe" zu geben, ist recht schwierig, obgleich beim Sprechen selbst eine richtige Silbeneinteilung ohne Mühe von jedermann gemacht werden kann. Nach Sievers gibt es im Wort bzw. Satz so viele Silben, als Verstärkungen der Ausatmung bzw. der Stimme vorhanden sind. Die Grenzen der Silben liegen in den Augenblicken der schwächsten Ausatmung. Man empfindet also als Silbe, was mit einem selbständigen, einheitlichen Ausatmungsstoß hervorgebracht wird: Ausatmungssilbe, Drucksilbe. Die Sprachsilbe hat einen mehr oder weniger deutlichen Wechsel der Tonhöhe (musikalischer oder tonischer Silbenakzent). Wir werden später sehen, welche außerordentlichen Schwankungen innerhalb einer einzigen Silbe eintreten können. Gerade dieses fortwährende Gleiten der Tonhöhe unterscheidet die gesprochene von der gesungenen Silbe: „Beim Singen verweilt die Stimme ohne Wechsel der Tonhöhe auf jeder Note und springt dann so rasch wie möglich zu der folgenden Note über, so daß der verbindende „Gleitton" nicht wahrgenommen wird, wenn auch keine wirkliche Unterbrechung des Tones stattfindet. Beim Sprechen dagegen verweilt die Stimme nur gelegentlich auf einer Note, sie bewegt sich vielmehr fortwährend auf und ab, von einer Note zur anderen, so daß die verschiedenen Noten, die wir zur Bezeichnung der Tonhöhe einer Silbe ansetzen, einfach Punkte sind, zwischen denen die Stimme beständig gleitet." (Sweet, Handb., S. 93 ff., zitiert nach Sievers, S. 207.)

Und ähnlich C. Stumpf: In der lebendigen Sprache unterliegt die Tonhöhe oft schon innerhalb einer einzigen akzentuierten Silbe stetigen Schwankungen. Die Formantregion wird so gewissermaßen „abgestreift", wodurch die Valenzen eines Vokals vollständiger zur Geltung kommen. „Dazu kommt aber, daß der Sprechende, der in erster Linie vom Hörer verstanden werden will, automatisch auf deutlichere Aussprache, und gleichzeitig der Hörende auf schärferes Erfassen dieser Unterschiede eingestellt ist als beim Singen, wo die Intentionen des Sängers wie des Hörers in erster Linie den musikalischen Eigenschaften gelten."

Daraus ist von vornherein klar, daß die Perioden der Kurven bei gesprochenen Vokalen fortwährend an Länge wechseln, bei gesungenen Vokalen dagegen stets gleich lang sind. An sich ist also

zwischen dem gesprochenen und dem gesungenen Vokal bezüglich der einzelnen Teiltöne kein Unterschied vorhanden. Daher kann man, wie Hermann mit Recht hervorhebt, von jedem gesprochenen *a* aus unmittelbar in eine Tonleiter übergehen. Der Unterschied zwischen gesungener und gesprochener Artikulation liegt ausschließlich darin, daß Notenhöhe, Intensität und Dauer der Silben „beim Gesang durch Melodie und Takt, beim Sprechen durch die Betonungsgesetze des Sinnes und der Konstruktion beherrscht werden“ (Hermann).

Zum Wort wird die Silbe oder die Verbindung mehrerer Silben, wenn sie einen Begriff darstellt, unter Satz versteht man nach Sievers jede selbständig gesprochene Äußerung, d. h. jede in sich geschlossene Lautmasse, die in einem gegebenen Zusammenhang, sei es der Rede, sei es der Situation überhaupt, einen bestimmten Sinn zum Ausdruck bringen soll, und in diesem bestimmten Sinne vom Hörer verstanden wird. Bühler bestimmt den Satzbegriff psychologisch als „einfache, selbständige, in sich abgeschlossene Leistungseinheit“ oder kurz „Sinneseinheit der Rede“. Sätze dienen der Kundgabe: *au*!, der Auslösung: *he*! und der Darstellung von Sachverhalten.

Zur Bildung dieser sinngemäßen Lautmassen „werden phonetisch Silben oft zeitlich zusammengeklebt, die dem Schriftbilde nach zu ganz verschiedenen Worten gehören, wenn es die musikalisch-phonetischen Gesetzmäßigkeiten erfordern. Andererseits werden auch häufig im Schriftbild zusammengehörige Silben aus den gleichen Gründen auseinandergerissen“ (Isserlin). Man trennt also phonetisch anders als in der Schrift.

Es gibt demnach Sätze, die nur aus einer Silbe bestehen: au, he, ja, nein, hier, dort. Vor allem beim sprechenlernenden Kinde ist der Einwortsatz (Meumann, C. und W. Stern) auffallend, besonders weil hier die gleiche Silbe je nach der Betonung in ihrer Bedeutung noch viel mehr wechselt, als beim Erwachsenen.

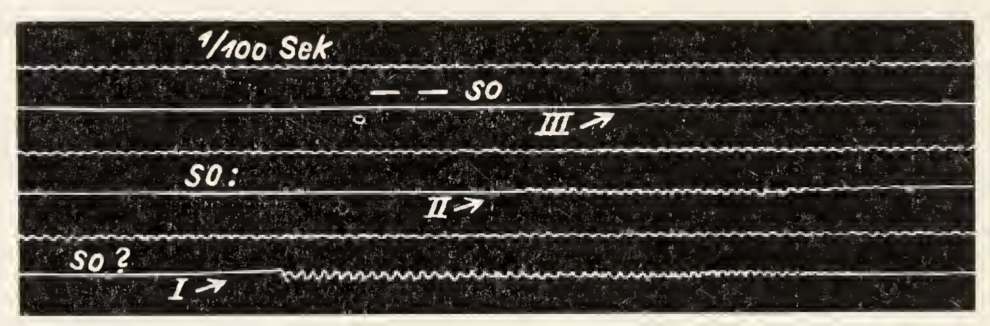
3. Akzente der Sprache.

In einem mehrsilbigen Satze hebt die Lautsprache durch den Akzent das Wesentliche heraus und vermag damit dem Satze einen ganz verschiedenen Sinn zu erteilen. Sievers wählt als Beispiel den Satz: „Er hat das Buch“. Der Sinn ändert sich, je nach dem Worte, das den Hauptton trägt; *er* hat das Buch, er *hat* das Buch, er hat *das* Buch, er hat das *Buch* — jeder Satz erweckt ganz

verschiedene Vorstellungen und Assoziationen in uns. Bekannt ist das Ansteigen der Tonhöhe des Fragesatzes, wobei nach Isserlin „vor dem eigentlich Fragenden ein starker Abfall der Tonhöhenbewegung erfolgt", und das Sinken am Ende des Aussagesatzes. Die Schrift kann dieser Leichtbeweglichkeit der Lautsprache nur mühselig und mit Krücken folgen.

Als Beispiel dafür, wie in unserer Sprache der Sinn der Rede oft durch den musikalischen Akzent festgelegt wird, sei hier eine kleine Untersuchungsreihe der Interjektion „so" eingefügt. Das Wort wurde dreimal gesprochen, und zwar 1. als anzweifelnde Frage, 2. als befehlende Anweisung, 3. als Ausdruck der Entspannung (nach beendeter Handlung). Die Aufnahmen erfolgten mittels Mundtrichter und einer kleinen Schreibkapsel, und zwar in unmittelbarer Aufeinanderfolge. Die Umlaufsgeschwindigkeit des Auf-

Abb. 91.



zeichnungsapparates war dabei annähernd gleichmäßig, wie ja aus der Zeitkurve $= {}^{1}/_{100}$ Sek. zu erkennen ist, die über der Sprachkurve gleichzeitig aufgezeichnet wurde (s. Abb. 91).

Schon ohne genaue Ausmessung und bei bloßer Betrachtung ist folgendes aus den Kurven zu entnehmen: Bei 1 (fragend) verkürzt sich die Periodenlänge der Schwingungen erheblich. Die Tonhöhe stieg also stark. Bei 2 (befehlend) kann im wesentlichen eine absteigende Bewegung der Höhe abgelesen werden. Bei 3 (entspannt) fällt die Tonhöhe weniger; die durchschnittliche Höhe ist dabei bedeutend geringer als bei 2, was aus der größeren Länge der aufgezeichneten Wellen leicht erkennbar ist.

Man unterscheidet drei Akzente im Sprechen: den musikalischen Akzent, den dynamischen oder Stärkeakzent und den temporalen oder Zeitakzent, nämlich die Dauer der Silben, die sog. Quantität. Am besten untersucht sind der musikalische und der Zeitakzent, mangelhaft dagegen ist bisher die Untersuchung des Stärkeakzents ausgefallen, und zwar deshalb, weil wir kein zuverlässiges Mittel haben, um diesen Akzent einwandfrei zu messen. Das ist um so

seltsamer, als wir mit dem Gehör gerade den Stärkeakzent außerordentlich leicht auffassen, wenngleich er nicht selten mit dem musikalischen verwechselt wird.

Während der musikalische Akzent der Sprache, wenn auch nicht allein, so doch in der Hauptsache, den sinngemäßen sowie den Gemütsausdruck durch die Tonbewegung innerhalb der Silben, Worte und Sätze verleiht, bewirkt der Stärkeakzent, teils abhängig, teils unabhängig vom Tonfall, durch die Kraft der artikulatorischen Muskelleistung eine mehr oder minder große Deutlichkeit der Sprache. Der Zeitakzent endlich tritt nicht so selbständig auf, sondern beeinflußt durch Änderung der Dauer der Lautfolge seinerseits den musikalischen Akzent. Er wirkt mitbestimmend auf den Rhythmus der Sprache und kann mit den beiden anderen zur Vermittelung des Sinnes beitragen (Nadoleczny).

Daß die drei Akzente voneinander abhängig sind, hat Isserlin experimentell-phonetisch nachgewiesen.

Fröschels versuchte, den Akzent teleologisch zu erklären. Der Sprecher habe das Bestreben, durch Verstärkung sowohl wie durch plötzliche Abschwächung die Aufmerksamkeit des Hörers auf einzelne Ausdrücke zu lenken. Demgegenüber meint Nadoleczny, „so richtig das unter vielen Umständen ist, die Begriffsbestimmung der Akzente kann der teleologischen Seite entbehren, obwohl jene sogar für die Verständlichkeit der Worte maßgebend sind, und zwar nicht nur, weil krankhafte sprachliche Leistungen Geisteskranker oder Schwachsinniger sich dieser Deutung nicht fügen, sondern weil sie sich, wie Meumann mit Recht hervorhebt, überall da einstellt, wo wir um den Nachweis des kausalen Zusammenhangs in Verlegenheit sind, und die Gefahr mit sich bringt, daß über dem Nachweis der ‚Bedeutung' einer Erscheinung die Erforschung ihrer Bedingungen vergessen wird."

a) Der musikalische Akzent.

Der musikalische oder tonische Silbenakzent ist die Tonbewegung, nicht etwa nur die Tonerhöhung, innerhalb der einzelnen Silben; die Unterschiede der absoluten oder durchschnittlichen Tonhöhe der einzelnen Silben im Worte oder Satze ergeben den musikalischen oder tonischen Wort- und Satzakzent. Innerhalb der Silbe sind nach Sievers drei Hauptformen dieses Akzentes zu erkennen: der ebene, der steigende, der fallende; dazu kommen noch Kombinationen: z. B. der steigend fallende und der fallend steigende Akzent. Sehr wichtig sind die tonischen Silbenakzente im Chinesischen, in verschiedenen afrikanischen, aber auch in einigen europäischen Sprachen, z. B. im Serbischen, Litauischen und Schwedischen.

Der musikalische Wortakzent ist durchaus unabhängig vom Stärkeakzent; man vergleiche die Tonhöhen im Worte „morgen“ in den beiden Sätzen: „ich komme morgen“ und „kommst du morgen?“ Gewöhnlich geht allerdings im Deutschen der Stärkeakzent dem tonischen parallel. Bei der Bestimmung des Wortakzentes geht man am besten von der tiefsten Silbe aus, von hieraus mißt man die Intervalle. Ferner ist die Richtung der Stimmbewegung in den einzelnen Silben zu beachten. Im Deutschen und Englischen z. B. herrscht der fallende, im Norwegischen und Schwedischen der steigende Akzent vor.

Beim musikalischen Satzakzent kann man mit Sweet und Sievers drei Stimmlagen annehmen: eine hohe, eine tiefe und eine mittlere, die je nach dem Inhalt des Gesprochenen, dem Alter und Geschlecht, dem Gemütszustand des Sprechenden, verschieden sind. Danach schwankt die Tonhöhe und, soweit die Tonstärke von gleichen Umständen beeinflußt wird, auch die Tonstärke beim gewöhnlichen Redefluß hin und her. Daß die experimentelle Psychologie diesen Umstand zu ihren Arbeiten benutzt, ist naheliegend. Näheres ist bei Wundt nachzulesen, ferner in den Arbeiten von Krüger, Wirth, Marbe, Scripture, Nadoleczny, Fröschels, und in Frankreich E. Dupré und M. Nathan: Le Langage musical, 1911. Von früheren Arbeiten verweise ich besonders auf das beachtenswerte Buch von Bourdon.

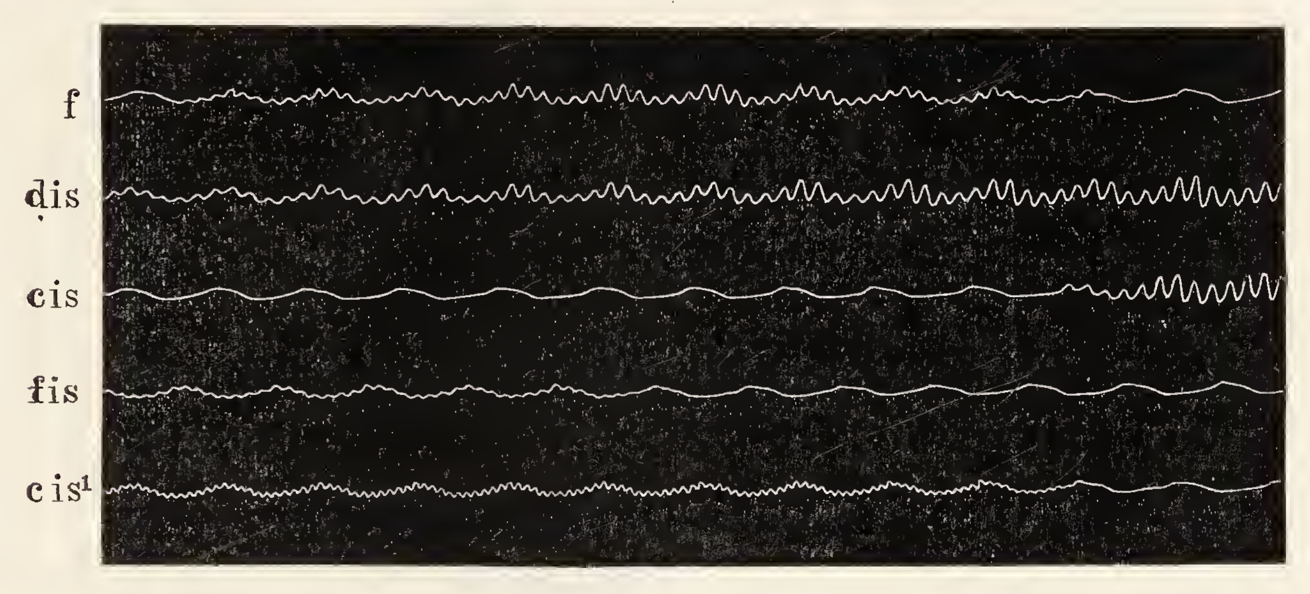
Der musikalische Akzent wurde graphisch aufgezeichnet und ausgemessen unter anderem mit dem Rousselotschen Apparat. Rousselot fand dabei folgende Regeln: 1. Jeder Vokal kann in verschiedenen Silben mit stark wechselnder Tonlage gesprochen werden; ihm kommt kein fester Stimmton zu. 2. Die Konsonanten werden gewöhnlich etwas tiefer gesprochen als die Vokale. 3. Die Nähe eines Vokales erhöht die Tonlage eines Konsonanten, die Nähe des Konsonanten erniedrigt die Tonlage des Vokales. 4. Der musikalische Akzent liegt meist auf derjenigen Silbe, die auch schon durch den Stärkeakzent hervorgehoben wird.

Gutzmann sen. bediente sich zur graphischen Untersuchung der Sprechtonhöhe sowohl des Krüger-Wirthschen wie des von ihm in Gemeinschaft mit Wethlo angegebenen Kehltonschreibers. Gutzmann sen. hat mehrfach seine vorher mit dem Gehör festgestellte Tonlage durch die mit Graphik bei demselben Menschen gewonnene verglichen, und so seine eigenen Hör- und Bestimmungsfehler zu messen gesucht. Natürlich mußte die zu untersuchende Person genügend daraufhin vorbereitet werden, daß sie bei der instrumentalen Untersuchung möglichst ebenso sprach wie vorher, als bei ihr, ohne daß sie es wußte, die Tonhöhe festgestellt wurde. Gutzmann sen. hat ferner während dieser graphischen Untersuchung selbst die Tonhöhe auch mit dem Ohre festzustellen gesucht. Bei den Auszählungen ergab sich nun, daß er z. B. in einem Falle, in dem das Wort „Adieu“ in etwas lebhaft rufender Weise gesprochen wurde, mit dem Ohre die Tonhöhe bestimmte auf $A — d^1$; die Schwingungszahl des A beträgt ungefähr 108, die des eingestrichenen d^1 290 Schwingungen in der Sekunde.

Mittels des Kehltonschreibers zeigte sich, daß der Sprechende auf die Silbe *a* 114 Schwingungen, auf die Silbe *ö* 304 Schwingungen gemacht hatte. Gutzmann sen. Gehörsicherheit hatte sich für die erste Silbe um 6 Schwingungen, für die zweite um 14 Schwingungen geirrt, gewiß ein sehr geringer Hörfehler.

Die nachstehende Abb. 92 mag als Beispiel für die unmittelbare Aufnahme der Stimmvibrationen dienen. Gutzmann sen. hat die Aufnahme dadurch sehr vereinfacht, daß er die Zeitmarkierung mit den Vibrationen in eine einzige Kurve vereinigte. Läßt man irgend einen Zeitschreiber (Stimmgabel, Engelmannsches Chronoskop) $^1/_{25}$ Sekunden auf den Kehltonschreiber übertragen, und mittels *T*-Rohres gleichzeitig die Stimmvibra-

Abb. 92.



Die großen Wellen zeigen $^1/_{25}$ Sekunden an; die darauf gezeichneten kleinen Wellen geben die Tonhöhe gesprochener Laute wieder, die durchschnittlich festgestellte Tonhöhe ist den Kurven links vorgeschrieben.

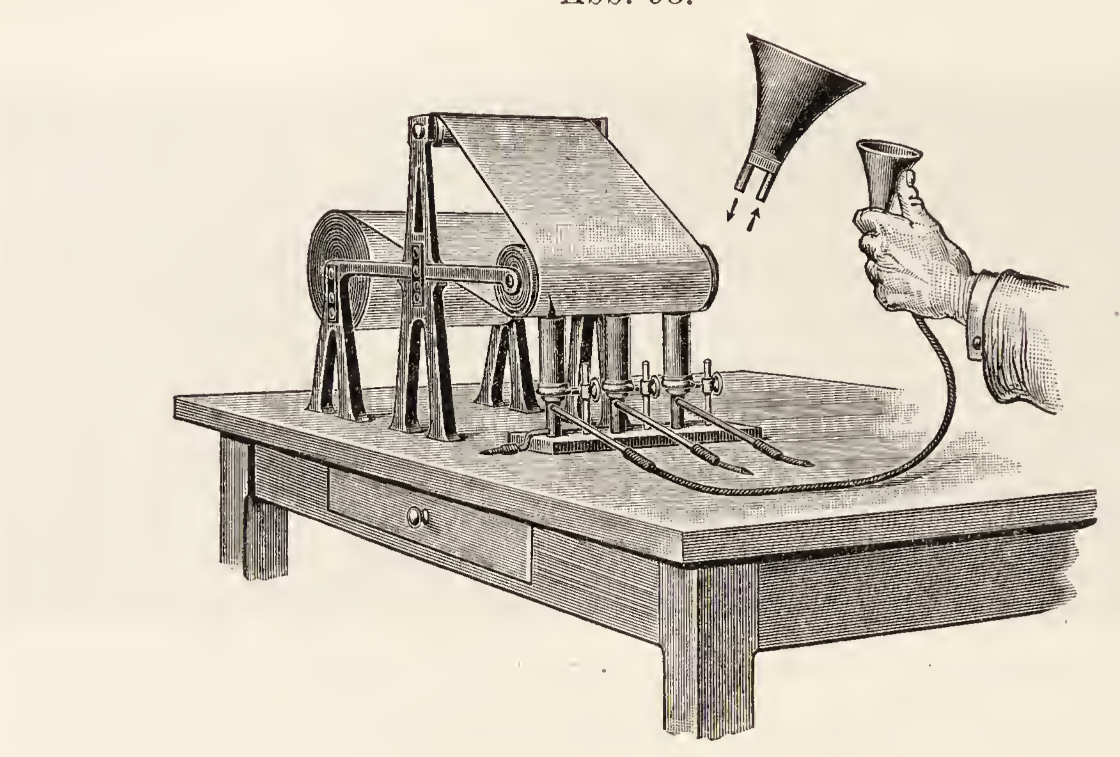
tionen, so entstehen die zierlichsten Figuren, in denen man die gesprochenen Tonhöhen sehr leicht findet, wenn man die kleinen Zacken einer großen Schwingung auszählt und mit 25 multipliziert.

Eine bequeme Anwendung kann man von dem Marbeschen Verfahren bei Feststellung des musikalischen Akzentes machen. Auf der Abb. 93 sieht man, wie die drei schon öfters erwähnten Azetylenflammen auf einem an ihnen vorbeigeführten Streifen Papier (von 400 m Länge) ihre Rußringe verzeichnen. Die erste Flamme dient zur Aufnahme der Stimmvibrationen, die mit dem kleinen, von dünner Kautschukmembran überzogenen Trichter am Kehlkopf aufgenommen werden. Die zweite Flamme kann zur Verzeichnung des Stärkeakzentes (einfache Übertragung der betonten Silbe durch Handdruck), die dritte zur Aufzeichnung von 100 Stimmgabel-Schwingungen in der Sekunde benutzt werden. Da die Flamme überaus empfindlich ist, so kann man in gewöhnlicher Stimmstärke des Unterhaltungstones sprechen. Auch die leisesten Töne werden wiedergegeben.

Bei der Benutzung des Phonographen und auch des Hensenschen Sprachzeichners ist das nicht der Fall. Da nun die Tonstärke gewöhnlich auch die Tonhöhe beeinflußt, so sind die auf diese Weise gewonnenen Darstellungen der musikalischen Akzente nicht einwandfrei.

Martens untersuchte mit dem Hensenschen Sprachzeichner sechs männliche, drei weibliche und vier kindliche Stimmen. Um möglichst große Mannigfaltigkeit des Verhaltens der Stimme hervorzurufen, nahm er Sätze wie: Vater und Mutter — der Donner rollt — mein kleines Kind — o du mein Alles — lauf, mein Kind — o nein (abweisend) — o nein (vorwurfsvoll) — hübsche Häuser — was gibts dort? — back süßes Brot — komm, armes Kind. — Die Ergebnisse seiner Untersuchungen faßt er folgendermaßen zusammen: „Die Vokale halten sich im ganzen wohl in mittlerer Stimmlage; vielleicht neigen sie etwas mehr nach der tieferen Seite zu. Wenigstens konnte ich in drei zuverlässigen Fällen — die übrigen Versuche miß-


Abb. 93.



langen wegen der ungenügenden musikalischen Bildung oder der jugendlichen Ungeschicklichkeit der Untersuchten —, in welchen ich die Singstimme mit der Sprachstimme vergleichen konnte, konstatieren, daß der mittlere Sprechton tiefer lag als der mittlere Sington.“

„Die Zeitdauer, in welcher ein Vokal in einem Worte gesprochen wird, betrug in 91 Fällen in maximo 0,549″, in minimo 0,038″. Als Durchschnitt ergab sich für die Zeitdauer eines gesprochenen Vokales 0,182″. Als größte Anzahl der Wellen des Grundtones in einem Vokal zählte ich 303. Die geringste war 10. Als Durchschnitt stellte sich die Zahl 46 heraus.“

„Die Schwankungen der Tonhöhe, welche der Vokal im einzelnen Worte zeigt, sind sehr verschieden. Als Beispiele will ich einige Extreme anführen. So kommen Schwankungen in der Tonhöhe vor, die eine ganze Oktave und mehr umfassen. Es geht z. B. beim *o* in Nr. 17 der im Anhang angeführten Tabellen der Ton in ziemlich gleichmäßiger Ansteigung allmählich von der Schwingungszahl 151 bis 313, d. h. etwa von *dis* bis e^2 in die Höhe. Ähnliches finden wir beim *a* in Vater in Nr. 12, und beim *au* in lauf bei Nr. 20. Beim *a* in Mokka in Nr. 25 und beim *e* in Mutter in Nr. 12 sinkt die Tonhöhe in beiden Fällen um ungefähr eine Oktave. Im Gegensatz zu diesen findet sich auch in einzelnen Fällen eine nur ganz

geringe Schwankung in der Vokalhöhe. So hat dieselbe in Nr. 4 beim *a* in Vater nur einen Umfang von *ais* bis *h*, 220 bis 227, und in Nr. 13 beim *u* in „und" einen Umfang von a^1 bis h^1 431 bis 453. Als Mittel für die Schwankungen in der Tonhöhe der einzelnen Vokale in gesprochenen Worten wurden zwei bis drei Intervalle einer Oktave gefunden. Eine Regel, nach welcher diese Schwankungen erfolgen, scheint nicht vorhanden zu sein. Bald geht die Tonhöhe während der Dauer eines Vokales hinauf, bald fällt sie ab. Recht häufig kommt es auch vor, daß der Vokal bis zur Mitte seiner Dauer in der Tonhöhe hinaufgeht; aber auch das Gegenteil ist wohl ebenso häufig zu beobachten. Auch variiert die Art des Steigens und Fallens sehr erheblich, und bald steigt und sinkt der Ton ganz allmählich, bald geht dies sehr plötzlich und in großen Sprüngen vor sich. Alle diese Verhältnisse sind aus der beigegebenen Tafel, auf welcher Beispiele in der Schwankung der Vokalhöhe graphisch dargestellt sind, leicht ersichtlich."

„Die Kurven ergeben, daß es unserem Ohr im allgemeinen nicht möglich sein kann, die Tonhöhe eines gesprochenen Vokals genau zu bestimmen, teils deshalb, weil überhaupt der Grundton oft nur sehr schwach hervortritt, namentlich aber, weil der Ton sich gar nicht oder nur ganz kurze Zeit auf gleicher Höhe hält."

Einige der oben angeführten Tabellen werden hier wiedergegeben, da ihre Auszählungen gewiß sehr lehrreich sind.

„Oh, du mein Alles", gesprochen von einem 29 jährigen Mann *o* in „*oh*" e^{1b}—h^b—*dis*			
+ 38 %		— 33 %	
1	1	151	259
2	1	161	267
1	10	176	?
1	2	160	267
1	2	181	268
8	2	?	281
1	2	201	283
1	2	216	273
1	2	216	268
12	2	?	283
1	2	241	290
2	20	?	?
1	2	245	313
4	2	?	313
1	2	259	302
Sa. . . 92		Max. . . 313	
t . . 0,364″		D. . . . 227	
		Min. . . 151	

a in Vater, gesprochen von einem 29 jährigen Mann d^{1b}—*gis*—*e*			
+ 36 %		— 20 %	
1	8	165	?
3	1	161	216
1	1	168	224
1	1	168	227
1	6	165	?
1	1	170	273
7	1	?	271
1	1	157	273
1		201	
Sa. . . 37		Max. . . 273	
t . . 0,183″		D. . . . 200	
		Min. . . 161	

F. Krüger macht mit Recht darauf aufmerksam, daß die Art und Weise der Wortzusammenstellungen, welche Martens wählte, ohne Rücksicht auf das, was die Sprechenden sich dabei denken mochten, zu den widersprechenden Ergebnissen bezüglich der Tonhöhenschwankungen geführt hat. Wörter und Sätze sind eben nicht die gleichen, wenn sie als Ausdruck verschiedener seelischer Zustände gewählt werden, wie ja auch bei dem Ausdruck „o nein" der Untersucher eine solche Unterscheidung herzustellen versucht hat. Bemerkenswert ist auch das Ergebnis von Martens in bezug auf die Diphthonge. Er erinnert daran, daß Merkel bei den Diphthongen drei Teilvorgänge unterscheidet: den Einsatz oder Anlaut, den Absatz oder Auslaut und den zwischen beiden liegenden Übergang oder Umlaut, den er als „gleichsam den neutralen Punkt zwischen beiden Vokalgebieten, die den Diphthongen konstruieren," bezeichnet. Diese Theorie bestätigen Martens Kurven, die in der Tat ergeben, daß zwischen dem anlautenden und auslautenden Vokal des Diphthongen ein mehr oder weniger langer Übergang vorhanden ist (Merkels Umlaut, den er als unbestimmten Vokal bezeichnen möchte; er ist natürlich identisch mit dem früher erwähnten. Gerdes, Gleitlaute).

Boeke benutzte den Phonographen. Die durchschnittliche Periodenlänge und Stimmnoten der gesprochenen Vokale einer Frau gibt folgende Tabelle wieder:

Periodenlänge und Stimmnote gesprochener Vokallaute (Frau, Sopran).

Holländisch	Übersetzung	Periodenlänge	Stimmnote	Schwingungszahl
De	Die	27,5	$> dis^1$	293
ze	se	30	$< c^1$	269
Klin	Vokale	28,7	$> d^1$	281
kers		30,5	$< c^1$	264
zijn	sind	26,5	dis^1	304
ge	ge	35	$< ais$	230
zon	sun	27	dis^1	298
gen	gen	34	$> b$	234
te	zu	31	$< c^1$	260
Am	Am	27,5	$< d^1$	293
ster	ster	36	ais	224
dam	dam	26,5	dis^1	304
op	auf	29	c^1—cis^1	278
een	ein	27	dis^1	298
Maart	März	25,5	e^1	316

Auch Pollak hat den Phonographen benutzt, um die Tonhöhe des Satzes zu untersuchen. Er konnte ebenfalls das Schwanken der Tonhöhe um einen Sprechton herum feststellen. Weiter sagt er: „Die Vokale in Wörtern gleicher sinnhafter Betonung tragen am Satzanfang stets einen

höheren Ton als am Satzende. Am Satzanfang steigt die Tonhöhe des Vokals zunächst langsam bis zu einer gewissen Höhe und sinkt dann etwas, am Satzende sinkt die Stimme bei denselben Lauten entweder unmittelbar, oder es erfolgt nach einem leichten Ansteigen ein langsam fortschreitendes Sinken der Stimme."

Schilling weist auf die Bedeutung der Stimmungslage für die Tonhöhenbewegung und Silbenlänge (Zeitakzent) hin. Sein Schüler Ketterer hat besonders drei Stimmungslagen hervorgehoben. Eine indifferente oder sachliche mit der geringsten Tonhöhenbewegung, eine einfühlende mit ausgesprochener Melodik, und eine aktive, energische: „Verstärkung des dynamischen Akzentes, Beschleunigung des Tempos, mehr gerades und steiles Aufsteigen der Tonhöhe unter dem Iktus."

In neuerer Zeit bediente sich Isserlin zur Ausmessung der Tonhöhenschwankungen des Frankschen Apparates. Aus seinen Kurven ist der musikalische Wort- und Satzakzent in affirmativen und fragenden Wörtern und Sätzen sehr deutlich erkennbar.

Das Lachen hat Boeke phonographisch aufgenommen und berechnet, und zwar in seiner eigenen Stimme (s. Tabelle). Die Gesamtdauer des Lachens war 0,712, die der Pausen 1,998, zusammen 2,71 Sekunden; während Boekes Stimmnote beim gewöhnlichen Sprechen kaum um eine Terz (*fis* bis *a*) schwankte, lag die tiefste Note beim Lachen noch etwas höher als die höchste Grenze beim Sprechen, wobei die Stimmnote nahezu um eine ganze Oktave a^1 bis *ais* differierte. Ähnlich starke Wechsel der Stimmnote wie beim Lachen fand er beim Ausrufen.

Dauer und Stimmnote des Lachens (Mann).

Nummer des „Ha"-Lautes	Dauer desselben in Sekunden	Dauer der Pause in Sekunden	Anzahl der Perioden des „Ha"	Stimmnote
1.	0,097	0,178	37	381 g^1
2.	0,073	0,160	31	424 a^1
3.	0,088	0,161	32	384 g^1
4.	0,070	0,174	21	298 dis^1
5.	0,054	0,198	14	261 c^1
6.	0,041	0,186	10	244 *b*
7.	0,051	0,180	12	243 *b*
8.	0,051	0,200	12	243 *b*
9.	0,054	0,188	12	223 *ais*
10.	0,044	0,194	10	230 *ais*
11.	0,046	0,189	11	238 *b*
12.	0,049	—	11	226 *ais*

b) Der Stärkeakzent.

Nach Pipping, dem Zwaardemaker sich anschließt, beruht der Stärkeakzent in der Hervorhebung einer Silbe mittels eines deutlicheren akustischen Eindruckes. Dies wird durch zwei Um-

stände bewerkstelligt: α) durch kräftigere und bestimmtere Artikulation, β) durch größere lebendige Kraft der Schallwellen. Benutzt man den sehr feinen, schon beschriebenen Apparat von Zwaardemaker zur Aufnahme der Artikulation, so gelingt es in der Tat, wenn auch nicht absolute, so doch relative Maße der Bestimmtheit und Kraft der Artikulation festzustellen. Dies wird besonders dann deutlich, wenn man ein und dasselbe Wort einmal mit schwacher, das zweite Mal mit scharfer Aussprache aufnimmt. Besonders dort, wo infolge fehlerhafter Sprachweise auffällige Verschiebungen des Stärkeakzentes statthaben (die Sprache der Stotterer, die übertriebene Artikulation der Taubstummen), bewährt sich der Zwaardemakersche Apparat sehr gut. Man darf aber niemals vergessen, daß es sich um relative Verschiebungen handelt. Auch die Stellung und Bewegung des Kehlkopfes könnte als Ausdruck der Intensität benutzt werden, wenn dabei eine gewisse Regelmäßigkeit in der Richtung stattfände. Aber die stärkeren Abweichungen von der Ruhelage erfolgen nur im lebhaften Sprechen, die geringen Abweichungen des ruhigen Sprechens sind unsicher und vieldeutig (s. oben S. 166). Die Intensität, die Tragweite der einzelnen Laute bestimmte O. Wolf in einer sehr eingehenden Untersuchung.

Neuere Versuche stammen wiederum von Zwaardemaker. Er benutzte zur Messung des Stärkeakzentes die Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit der Atemluft und des Luftdruckes. Von seinem graphischen Verfahren, die Kieferbewegung, Mundbodendruck, Stellung und Bewegung des Kehlkopfes zu messen, war schon oben die Rede. Die Schallmasse bestimmte er durch Ausmessen von Phonographenglyphen (nach ihrer empirischen Eichung), die Lautheit durch Schwellenwerte für die Schallenergie. Dazu kommt dann die Errechnung der seelischen Wirkung auf den Hörer. Um diese graphisch zu bestimmen, wurde, entsprechend dem Weberschen Gesetz, die phonographische Glyphik nach physikalischen Intensitäten, nach physiologischer Reizstärke und nach den Logarithmen ihrer Ordinaten umgerechnet. Erst die letztere Kurve „schafft uns das richtige Bild der Erscheinung“. Isserlin benutzte zur Herstellung seiner Kurven den Frankschen Apparat und schätzte die Intensität nach der Höhe der sich ergebenden Amplituden.

E. W. Scripture versucht einen anderen Weg. Er vergleicht den Begriff „Sprache“ gewissermaßen mit einem „Körper“ in

chemisch-physikalischem Sinne. Er führt in die Phonetik die Begriffe Element, Molekül, Atom ein. Die Elemente scheidet er in mikrophonische und makrophonische, also in kleine Lufterschütterungen bzw. -schwingungen (Vokale) und in die groben Luftbewegungen (Konsonanten) beim Sprechen. Jedes dieser beiden Elemente hat eine Reihe bestimmter und bestimmbarer Eigenschaften. Zu ihrer Aufschreibung benutzt er ein ziemlich kurzes, aber weites Rohr, in dem von einer trichterförmigen Sprechmaske aus die Summe der Sprachelemente zu einer Membran aus Ölseide geleitet wird. Die Bewegungen dieser Membran werden dann in der bekannten Weise auf ein Kymographion übertragen. Die groben Kurven stellen hierbei die makrophonischen Elemente dar, die kleinen Zacken auf ihnen die mikrophonischen.

Mit „Sprachatom" bezeichnet Scripture einen solchen Teil des Sprachstromes, bei dem sein Lautcharakter mit genügender Genauigkeit als konstant angesehen werden kann. Die Eigenschaften jeden Sprachatoms sind Dauer, Stärke, Tonhöhe, Qualität und Genauigkeit. „Sprachmolekül" dagegen nennt Scripture alles, was man sprachlich als Einheit auffassen kann. Es kann also sowohl ein Satz, wie ein Wort oder gelegentlich auch ein Einzellaut als Sprachmolekül aufgefaßt werden. Das Sprachmolekül stellt gewissermaßen eine ununterbrochene Kette, eine Folge, einen Verlauf von Sprachatomen mit allen ihren Eigenschaften dar. Die Eigenschaften der Sprachmoleküle sind demnach einmal die gleichen, wie die der Atome, aber im Verlauf, während der Dauer des ganzen Moleküls gesehen, d. h. sie ändern sich nur ihrer Intensität, nicht ihrer Art nach. Dann aber kommen noch eine Menge von Eigenschaften hinzu, die meist noch nicht näher zu bezeichnen, oder gar erst noch zu entdecken sind.

Diese Vorstellungen wendet Scripture bei den Atomanalysen und Molekülanalysen seiner Kurven an. Aus der Summe der Störungen der Eigenschaften der Atome wie der Moleküle ergeben sich die sogenannten Sprachgleichungen, mit denen er eine einheitliche Darstellung von Sprachstörungen versucht und ebenfalls ein Schema für die Untersuchungsergebnisse von Akzent, Tonhöhe usw. der normalen Sprache geben will.

Die Verstärkung der Ausatmung wurde zuerst von Rosapelly mit der Mareyschen Kapsel aufgenommen, Rousselot benutzte einen Kautschuktubus, Zwaardemaker und Shaw eine Windfahne — letzterer befestigte sie auf einer Magnetnadel —, Viëtor einen kurzen Schlauch ohne Trichter und E. A. Meyer sowie auch Scripture einen Schalltrichter

mit Schreibkapsel. Der Rückschluß aus der Größe des Ausschlages auf die Stärke der Stimme — und darauf kommt es doch wesentlich an — ist sehr unsicher, da auch bei verengter Mundspalte der Luftstrom eine größere Geschwindigkeit und größere lebendige Kraft erhält als bei weit offener, während die Anblasung der Stimmritze mit gleicher Kraft stattfindet (Zwaardemaker). Nur wenn man die gleiche Vokalstellung benutzt, lassen sich vergleichbare Kurven gewinnen, so Viëtors „Du", das er 1. mit behauptendem, 2. mit fragendem, 3. mit ärgerlich widersprechendem, 4. mit drohendem Tone aufnahm.

Die Messung der Stärke des geflüsterten Luftstromes nahm Lucae mit seinem Phonometer, der eine Art von Pendelanemometer darstellt, vor. Der später von Lucae umgeänderte Apparat, den er Tonometer nannte, besteht aus einer 5 cm im Durchschnitt haltenden Anemometerplatte, die, leicht beweglich an einem Rahmen aufgehängt, ihre Ausschläge mittels eines kleinen Zeigers auf einem Gradbogen anzeigt. Der Apparat wird gegen die Nasenwurzel des Sprechenden gestützt, so daß die Anemometerplatte sich immer in dem gleichen Abstand vom Munde befindet.

Mittels eines Pendelanemometers bestimmte C. Reuter die lineare Geschwindigkeit der beim Flüstern aus dem Munde hervorkommenden Luftströmung auf 9 bis 26 m pro Minute. Die im Munde selbst entstehenden Luftströmungen (Zyklonen) hat Gellé zu verfolgen gesucht, indem er auf glatten Stäbchen kleine Papierscheibchen durch die Luft hin und her treiben ließ. Er zeigte, daß die Scheibchen sich an gewissen Stellen nach dem Innern der Mundhöhle zu verschoben. Die Luftströmungen in der Mundhöhle bei *a* untersuchte Noyons mittels Manometer, die er mit Röhrchen verband, die zuvor in die Strömungsrichtung gestellt waren. Zwaardemaker gibt (Pflügers Archiv 1906, S. 441) eine Abbildung von den mannigfachen Strömungsrichtungen.

Berechnungen des Energieaufwandes beim Singen und bei verschiedenen Arten der Stimmanwendung nahmen Zwaardemaker, Webster u. a. vor. Ersterer fand den Energieaufwand bei dem Volksliede „Wilhelmus von Nassauen" zu $0{,}4 . 510^6$ Erg. pro Sekunde, bei einem Staccato zu $0{,}98 . 10^6$. (Gesungen von Frl. van Zanten.)

Zwaardemaker registrierte endlich die Strömungsgeschwindigkeit mittels seines „Aerodromographen", eines mit dem Pitotschen Röhrchen verbundenen, in Ligroin schwimmenden Gelatinspirometerchens, das an einer Wage äquilibriert aufgehängt war.

In ganz eigenartiger Weise suchte derselbe Forscher die akustische Intensität der menschlichen Sprechstimme festzustellen, indem er nach Boeke die phonographische Glyphik einiger Vokale analysierte, und die aus der Analyse hervorgehenden Teiltöne dann in ihrer analysierten Stärke von Orgelpfeifen ertönen ließ. Dann stellte er die von den Pfeifen verbrauchte Energie fest, summierte diese Energien, die dann die Gesamtstärke des gesprochenen Vokals darstellen sollten. Zwaardemaker selbst gibt aber zu, daß die Intensität des eigentlichen Stimmtones bei dieser Art der Berechnung fehle und daß dieser so nicht berechenbar sei. Er glaubt, daß die Gesamtstärke dadurch nicht wesentlich beeinflußt sei: „Jedenfalls ist in dieser Weise eine ungefähre Schätzung der akustischen

Intensität der menschlichen Stimme möglich, wenn dieselbe mit mäßigem Akzent den Vokal eines einsilbigen Wortes ausspricht.“ Man sieht, welche außerordentliche Einschränkung auch dieses Verfahren hat.

Rosengrens Behauptung, daß der Stärkeakzent mit der Quantität identisch sei, ist von Jespersen und Panconcelli-Calzia mit Recht zurückgewiesen worden.

c) Der Zeitakzent.

Die Messung der Zeitdauer der einzelnen Vokale, als Hauptrepräsentanten der Silbe, die Vergleichung der Vokale untereinander, ist nicht schwer, wenn man zunächst Wörter wählt, die nur tonlose Konsonanten haben, so daß man nur die Vibrationen der Kurven zu messen braucht, um sofort die Vokalklänge zu haben.

Das kann man sehr bequem mit dem Krüger-Wirthschen, Marbeschen oder Gutzmann-Wethloschen Kehltonschreiber. Natürlich kann man ebenso gut — mit Berücksichtigung der schon erwähnten Nachteile — den Phonographen dazu benutzen. Setzt man die Walze in den S. 109 abgebildeten Boekeschen Apparat, so ist an dem seitlichen Rade (auf der Abbildung rechts) ohne weiteres die Länge des Vokals abzulesen und in einfachster Weise zu berechnen. Man hat auch versucht, die Länge der Konsonanten in ähnlicher Weise festzustellen, ist aber wohl dabei zu irrtümlichen Ergebnissen gelangt. Man kann diese Dauer nicht einfach daraus schließen, wie lang der Zeitabstand zwischen zwei Vokalen ist. Eine solche Berechnung ist völlig irreführend. In dieser Weise hat z. B. Verschuur in seiner sonst so vortrefflichen Arbeit die Konsonantendauer berechnet: „De duur der intervocalischen consonanten werd bereknet uit den afstand tusschen het eindpont der voorgaande en het begin der volgende vocaal“. Natürlich wird man auch nicht nur den akustischen Ausdruck der Konsonanten messen dürfen, also bei *p*, *t*, *k* nur die Explosion, da ja auch die Implosion für diese Laute notwendig ist und Dauer beansprucht. Dagegen dürfen die Übergangszeiten vom Vokal zum Konsonanten, die den „Glides“ angehören, nicht den Konsonanten zugerechnet werden.

Man wird demnach stets drei Zeitabschnitte unterscheiden müssen: 1. Vokaldauer, 2. Konsonantendauer, 3. Übergangsdauer vom Vokal zum Konsonanten und umgekehrt. Verschuur fand bei seinen Messungen trotz der Nichtberücksichtigung des oben Gesagten doch noch die Konsonanten wesentlich kürzer als die Vokale; die kurzen Vokale dauern von 0,064 bis 0,161 Sek., die langen Vokale von 0,174 bis 0,310 Sek., die Konsonanten dagegen von 0,025 bis 0,122 Sek. Wenn man aber die Dauer der einzelnen Konsonanten vergleicht und folgende Ergebnisse findet:

$r = 0{,}025$	$v = 0{,}094$
$l = 0{,}028$	$k = 0{,}100$
$h = 0{,}062$	$t = 0{,}109$
$n = 0{,}066$	$s = 0{,}112$
$m = 0{,}084$	$p = 0{,}122$

so ist es klar, daß die Messung nach dem oben genannten Grundsatz falsch sein muß, da auf diese Weise die Dauer der uns so kurz erscheinenden

Verschlußlaute *p*, *t*, *k* die längste sein würde. Ebenso sind die Messungen der Konsonanten von Gellé zu beurteilen.

Dagegen sind die Messungen der Vokaldauer gut verwendbar und, wenn man die Vokale scharf begrenzen kann, für die Ermittlung des Zeitakzentes gut zu benutzen. In dieser Weise ist Martens verfahren, und hat aus Tonhöhe als Ordinaten und Dauer als Abszissen sehr übersichtliche Bilder des Sprachakzentes gewonnen; ebenso Isserlin durch genaue Messung an Aufnahmen mit dem Frankschen Apparat.

Daß die Wirkung des musikalischen Akzentes von der Dauer des betreffenden Tones innerhalb der Silbe abhängt, ist klar. Pipping hat daher aus musikalischem Akzent und Dauer einen zahlenmäßigen Ausdruck der musikalischen Betonung zu bestimmen gesucht.

Zwaardemaker und Gellé fanden bei den Messungen der Vokalklänge in $^1/_{100}$ Sek. des deutschen Satzes: „lasse zum fröhlichen Tanze dich laden", wenn der Satz von einem Rheinländer gesprochen wurde, folgende Dauer der Vokale:

	lass	e	zum	fröhl	ich	en	Ta	nze	dich	la	den	Total des Satzes
1.	12	21	11	10	10	—	12	18	25	20	—	380
2.	10	22	12	10	9	—	12	17	24	20	—	370
3.	12	20	10	10	9	7	15	17	18	14	10	360
4.	12	18	10	10	10	9	13	17	18	12	10	360

Derselbe Satz ergab, von einem Norddeutschen gesprochen, folgende Werte:

1.	12	20	19	18	10	10	20	8	13	15	2	450
2.	20	28	11	10	10	7	15	7	16	30	15	470
3.	15	30	10	11	8	7	16	5	18	30	28	480
4.	16	18	15	14	14	10	20	12	11	18	10	460

Dies Beispiel wird genügen, um zu zeigen, wie sich auch in der Silben- bzw. Vokaldauer deutlich individuelle Unterschiede ausprägen, sowohl im einzelnen Wort wie im ganzen Satz.

4. Zur phonetischen Unterscheidung der Sprache vom Gesang.

Nadoleczny sagt: „Sprache ist lautliche Ausdrucksbewegung für unser Fühlen, Wollen und Denken." Eine Begriffsbestimmung von der er selber meint, sie gehe etwas zu weit. Wenn man sich aber kurz fassen will, läßt es sich kaum besser sagen. Schwieriger ist es, den Unterschied von Sprache und Gesang genau festzulegen.

Eingehend hat sich C. Stumpf mit dieser Frage beschäftigt. Hauptsächlich auf Grund seiner Darlegungen hat Nadoleczny folgende Übersicht aufgestellt:

Umgangssprache:	Gesang:
Luftverbrauch etwa 20 bis 30 % geringer als bei ruhiger Atmung (Katzenstein).	Luftverbrauch erheblich größer als bei ruhiger Atmung.
Tonlage: eine Quint bis eine Sext. Tonhöhenwechsel stetig gleitend, nebenbei Tonsprünge.	Tonlage: der ganze Stimmumfang (siehe S. 78) Tonhöhenwechsel in festen Intervallen, niemals stetig.
Periodenlänge der Vokale wechselnd, Dauer der Vokallänge durchschnittlich kurz. Tonfall und Rhythmus durch den Sinn und die Akzentgesetze bestimmt.	Periodenlänge der Vokale gleichbleibend. Dauer der Vokalklänge durchschnittlich lang. Melodie und Rhythmus durch mathematisch-musikalische Gesetze bestimmt.

Zwischen Sprache und Gesang steht das singende Sprechen, die Litanei in der Kirche, das Rezitativ in der Oper, und das in manchen Gegenden und Ländern übliche gewohnheitsmäßig singende Sprechen. Stumpf sagt davon, es wirke „gerade darum unschön, weil es sich den festen Intervallen der Musik nähert und dadurch den Vorzug der Sprache aufgibt, ohne den der Musik zu gewinnen“. Die Unterschiede zwischen Singen und Sprechen sind nach Stumpf nur „gradweise, nicht durch irgend eine Grundeigenschaft verschieden“. Dieser gradweise Unterschied sei aber sehr „einschneidend“, und zwar nicht nur für den Hörer, sondern auch für den Sprecher und Sänger, also objektiv und subjektiv.

Die phonetische Schrift.

Der phonetischen Schriftzeichen gibt es so zahlreiche und nach so verschiedenen Grundsätzen erdachte, daß es den Raum dieses Buches bei weitem überschreiten würde, wollte ich auch nur annähernd von den Systemen der einzelnen Phonetiker Bericht geben. Ich verweise nur kurz auf die phonetische Schrift von Brücke, Merkel, Thausing, Du Bois-Reymond, Forchhammer u. a., wo die Zeichen der gewöhnlichen Schrift entweder willkürlich umgeändert wurden, oder Noten für Buchstaben eingesetzt waren u. a. m. Die wirkliche Stellung der Sprechwerkzeuge beim Sprechen suchten Whipple, H. Gutzmann sen. und Flatau wiederzugeben, jedoch sind diese Zeichen nur für bestimmte Zwecke zu schreiben, aber kaum zu drucken, wenn man nicht ganz neue Drucktypen schaffen will.

Jespersen hat in anderer Weise die Aufgaben einer phonetischen Schrift zu lösen versucht, indem er die Teile, ihre Stellung und den Grad ihrer Berührung bzw. Entfernung durch Buchstaben und Zahlen bezeichnete, so daß eine Art von Formeln geschrieben wurde. Das Nähere ist in den Jespersenschen Schriften, bei Viëtor S. 15 und bei Zwaardemaker nachzulesen.

Für den praktischen Gebrauch ist am besten das Alphabet der Association phonétique internationale, das leicht geschrieben, in größeren und kleinen Typen gedruckt werden kann und bereits eine sehr große Verbreitung gefunden hat. Diese Schreibweise ist gut zu gebrauchen bei der Niederschrift von fremden Mundarten, wobei man noch nicht einmal den Sinn des Gesprochenen zu verstehen braucht. Die oben erwähnten Schreibweisen von Whipple, H. Gutzmann sen. und Flatau dagegen sind gut zu verwenden bei dem Unterricht von Taubstummen und Aphasikern, um ihnen die zur Aussprache des geforderten Lautes erforderliche Mundstellung optisch klar zu machen.

Literaturverzeichnis.

Aikin, W. A. The separate functions of different parts of the rima glottidis. Journ. of anat. and physiol. **34**, 253—256 (1902).

Aimä, F. Vorläufige Versuche zur Endoskopie der Kehlkopfartikulation der labialen Verschlußlaute sowie der Spiranten *h*, *s*, *f*. Festscrift tillägnad Hugo Pipping. Svenska Litteratursällskapet i Finnland **175**, 557 ff. (1924).

Auerbach. Untersuchungen über die Natur des Vokalklanges. Pogg. Ann., Erg.-Bd. **8**, 177 (1876).

— Zur Grassmannschen Vokaltheorie. Wied. Ann. **4**, 508 (1878).

— Bestimmung der Resonanztöne der Mundhöhle durch Perkussion. Wied. Ann. **3**, 152 (1878).

— Die physikalischen Grundlagen der Phonetik. Zeitschr. für franz. Sprache und Lit. **16**, 116—171 (1894).

Barlow. Articulation of hum. voice etc. Proc. Dubl. Soc. (1878).

— On the pneumatic action etc. Proc. Roy. Soc. London **22**, 277 (1894).

Barth, A. Die Veränderung der Körperoberfläche beim Atmen. Verhandl. d. Ges. deutsch. Naturforscher u. Ärzte in Dresden 1907. Leipzig 1908.

—, E. Über den Mechanismus der Kehldeckelbewegungen beim Menschen. Arch. f. Anat. u. Physiol., S. 84 (1905).

— und Grumnach. Röntgenographische Beiträge zur Stimmphysiologie. Arch. f. Laryngol. **19**, Heft 3.

— Zur Lehre vom Tonansatz auf Grund physiologischer und anatomischer Untersuchungen. Arch. f. Laryngol. **16**, 491 (1904).

— Einführung in die Physiologie, Pathologie und Hygiene der menschlichen Stimme. Leipzig 1911.

Behnke. The mechanism of the human voice. London 1882.

Bell, A. M. Principles of Speech. London 1849.

— Visible Speech. London 1867.

— University Lectures on Phonetics. New York 1887.

Bergonié. Phénomènes physiques de la phonation. Thèse. Paris 1883.

Bernstein, F. Quantitative Rassenanalyse auf Grund von statistischen Beobachtungen über den Klangcharakter der Singstimme. Sitzungsberichte der pr. Akademie der Wissenschaften 1925, V.

— Zur Statistik der sekundären Geschlechtsmerkmale beim Menschen. Nachr. d. Gesellsch. d. Wissensch. zu Göttingen; mathemat.-naturwissenschaftl. Klasse. (1923).

— Beiträge zur mendelistischen Anthropologie I. Sitzungsberichte der pr. Akademie d. Wissenschaften. (1925).

— und Schläper, P. Über die Tonlage der menschlichen Singstimme. Sitzungsber. der pr. Akademie der Wissenschaften 1922, V.

Bevier. The acoustic analysis of the vowels from a phonographic record. Phys. Rev. **10**, 193 (1900).

— Acoustic analysis of the vowel A. Neuere Sprachen **8**, 65 (1900).

Beyer, F. Lautsystem des Neufranzösischen. Köthen 1887/88.

Biebendt. Über die Kraft des Gaumensegelverschlusses. Inaug.-Diss. 1908.

Binet et Henri. Les actions d'arrêt dans les phénomènes de la parole. Revue philosophique **37** (1894).

Blake, E. W. Nature **18**, 338 (1878).

Boeke. On the derivation of the curves of vowel sounds. Proc. Roy. Soc. Edinb. **22**, 88 ff.

— Mikroskopische Phonogrammstudien. Pflügers Arch. **50**, 297 (1891) und **76**, 497 (1899). Vgl. De Nature **76**, 497 (1890); 516 (1899).

Bourdon, B. L'expression des émotions et des tendances dans le langage. Paris 1892.

— L'application de la méthode graphique à l'étude de l'intensité de la voix. Année psychol. **4**, 369—378 (1898).

Bourseul. Beitrag zur Theorie der Vokale. Journ. de Phys. **7**, 377 (1877).

Bremer, O. Deutsche Phonetik. Leipzig 1893.

Broemser, Ph. Die Bedeutung der Lehre von den erzwungenen Schwingungen in der Physiologie. Habilitationsschrift. München 1918.

— und Frank. Ein neues Verfahren zur Registrierung von Schallphänomen. Sitzungsber. d. Gesellsch. f. Morphol. u. Physiol. in München **12**, 11 (1912).

Brücke. Grundzüge der Physiologie der Sprachlaute. Wien 1856.

Budde-Feldafing, E. Mathematisches zur Phonetik (Klanganalyse). Handb. d. biol. Arbeitsmethoden. Abt. V, Teil 7, Heft 2. Urban und Schwarzenberg, 1921.

Bukofzer. Was ist Tonansatz? Arch. f. Laryngol. u. Rhinol. **17** (1905).

— Über den Einfluß der Verengerung des Ansatzrohres auf die Höhe des gesungenen Tones. Arch. f. Ohrenheilk. **61** und Stimme **1** (1907).

Bühler, K. Kritische Musterung der neueren Theorien des Satzes. Indogermanisches Jahrbuch, Bd. VI.

Cagniard-Latour. Sur la pression à la quelle l'air continu dans la trachée-artère se trouve soumis pendant l'acte de la phonation. Compt. rend. de l'Ac. d. Sc. Paris 1837, IV, p. 101. Ann.d. Sc. Nat. VII, p. 180; VIII, p. 319 (1837).

Cross. Helmholtz' Vokaltheorie und der Phonograph. Nature **18**, 93 (1878).

Czermak. Zahlreiche Abhandlungen in den Wiener Sitzungsberichten 1857—1865.

Dahmann. Zur Frage der physiologischen Grundlagen der Stroboskopie (neues Stroboskop). Zeitschr. f. Hals-, Nasen- u. Ohrenheilk. **17** (1927).

Déguisne. Die Aufzeichnung von akustischen Schwebungen. Ann. d. Phys. **23**, 308 (1907), 4. Folge.

— und Marbe. Analogie zwischen Wechselströmen und Schallschwingungen. Physik. Zeitschr., 8. Jahrg., No. 7, S. 200.

Demeny. Analyse et Mouv. d. l. parole p. l. chronophotographie. Paris, C. R. Ac. Sc. 113, 216 (1891).

Dittrich, O. Die sprachwissenschaftliche Definition der Begriffe „Satz“ und „Syntax“. Philos. Studien **19** (1902).

Dittrich, O. Grundzüge der Sprachpsychologie I. Halle 1903.
— Die Grenze der Sprachwissenschaft. Leipzig 1905.

Donders. De physiologie d. spraakklanken etc. Utrecht 1870.
— Zahlreiche Abhandlungen über Vokalklang im Arch. f. d. holl. Beitr., Bd. 1—3, im Nederl. Arch. voor Geneesk., Bd. 1, in Pogg. Ann. **123** und in Ond. in het physiol. lab. Utrecht, T. 3, 1857—1871.

Doumer. Des voyelles etc. C. R. Ac. Sc. **104**, 340—342 (1886): **105**, 1247—1249 (1887).

Du Bois-Raymond und I. Katzenstein. Über Atemvolummessung beim Sprechen und Singen. Arch. f. experim. u. klin. Phonetik 1913.

Eichhorn. Die Vokalsirene. Wied. Ann. **39**, 149 (1890).

Eykman, L. P. H. The movements of the soft palate in speech. Onderzoek. physiol. Labor. Utrecht **4**, 347—375 (1903).
— Die Bewegung der Halsorgane. Pflügers Arch. **105**, 536—540 (1904).
— De registratie der bovenlip beweging. Onderzoek. physiol. Labor. Utrecht **5**, 30—40 (1904).
— The measuring of the vertical jaw-distances in Speech. Archives Teyler (2) **7**, 2. Teil.
— Die Radiographie des Kehlkopfes. Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen. Hamburg 1903—1904.
— The tongue-position in the pronunciation of some vowels as set by Röntgenphotographs. Vox. S. 129 (1914).

Ellis, A. J. Essentials of Phonetics. London 1848.

Engel, G. Studien zur Theorie des Gesanges. Reicherts u. du Bois-Raymonds Archiv **5**, 309 (1869).

Ewald, J. R. Die Physiologie des Kehlkopfes und der Luftröhre. Stimmbildung. In P. Heymanns Handb. d. Laryngol. u. Rhinol. **1**, 165. Wien 1898.
— Zur Konstruktion von Polsterpfeifen. Pflügers Arch f. d. ges. Physiol. **152**, 171 (1913).

Fellenz, H. L. Über Mutationsstörungen der Stimme bei beiden Geschlechtern. Zeitschr. f. Hals-, Nasen- u. Ohrenheilk. **16**, H. 3.

Feré. C. R. Soc. Biol. 1889, p. 518.

Fick. Zur Phonographik. Beitr. zur Physiol. Verb. Potenz-Fühlhebel, Ludwig gewidmet. 1887, S. 23 ff.

Flatau, Th. S. Sur un Quatrième registre musical de la voix. Arch. intern. de Laryngol. 1905.
— und Gutzmann, H. Neue Versuche zur Physiologie des Gesanges. Arch. f. Laryngol. **16**.
— —. Die Singstimme des Schulkindes. Arch. f. Laryngol. **20**.
— —. Die Stimme des Säuglings. Sonderabdruck a. Arch. f. Laryngol. **18**, 13 (1906).
— —. Die Endoscopie des Kehlkopfes. Stimme 1912.
— —. Disposition und Indisposition beim Singen. Stimme 1913.
— —. Zum Studium der sichtbaren Sprachbewegungen. Stimme 1914.
— —. Ärztliche Behandlung und Versorgung der Ertaubten und Schwerhörigen. Berliner Klin. Wochenschrift 1921. Nr. 33, S. 960.

Flatau, Th. S. Ergebnisse der Ertaubten- und Schwerhörigenbehandlung und -versorgung. Zentralblatt f. Hals-, Nasen-, Ohrenheilkunde usw. **10**, Heft 3.

— und Gutzmann, H. Die Bauchrednerkunst. Leipzig 1894.

Forchhammer. Phonoskopet. Tidskrift for Physik og Chem. **8**, 97 (1887).

Frank, O. Prinzipien der graphischen Registrierung. Tigerstedts Handb. d. Physiol. Methodik. 2 Bd., **2**, 1. Leipzig 1913.

— Prinzipien der graphischen Registrierung. Zeitschr. f. Biologie **53**, 429ff (1910).

— Die Theorie des Lufttonographen. Zeitschr. f. Biologie **57**, 176ff (1912).

— Die Theorie der Segmentkolbenkapsel. Zeitschr. f. Biologie **59**, 526ff. (1913).

Fröschels, E. Singen und Sprechen. Leipzig und Wien 1920.

— Psychologie der Sprache. Leipzig und Wien 1925.

— Untersuchungen über die Kinderstimme. Zentralblatt für Physiologie **34**, Nr. 11.

— Untersuchungen über das Sprechtempo. Monatsschr. f. Ohrenheilk. u. Laryngo-Rhinol. Nr. 10 (1920).

— Über den günstigsten Übungsvokal beim Gesangsunterricht. Stimme **16**, Nr. 9, S. 169 (1922).

— Über eine noch nicht beschriebene Mitbewegung. (Zur Physiologie des *S*-Lautes.) Med. Klinik Nr. 44, S. 1685 (1926) und Med. Klinik Nr. 6, S. 213 (1927).

Gallée, J. H. und Zwaardemaker, H. Über Graphik der Sprachlaute, namentlich der Explosivae. Die neueren Sprachen **8**, 1—24 (1900).

— Duur en tonshoogte van Nederlandsche Klanken en lettergrepen. Handel. v. h. Nederl. Philol. Congres 1902, p. 115—135.

— Over den duur van klinkers en mede klinkers. Separatabdruck aus Onderz. Phys. Lab. Utrecht.

Garbini. Evoluzione della voce nella infancia. Verona 1892.

Garcia. Mém. s. l. voix humaine. Paris 1847.

— Rech. s. l. voix humaine. C. R. 1861 (1. sem.), p. 654.

— Beobachtungen über die menschliche Stimme. Wien 1878.

Garten, S. Analyse der Vokale mit dem Quinckeschen Interferenzapparat. Abh. d. math.-phys. Klasse d. sächs. Akad. d. Wissensch. **38**, Nr. VII.

— Eigentöne der Mundhöhle bei Einstellung auf verschiedene Vokale ohne Betätigung der Stimme. Ibidem, Nr. VIII.

— und Kleinknecht, F. Die automatische harmonische Analyse der gesungenen Vokale. Ibidem, Nr. IX.

Gavarret. Phén. phys. d. l. phonation. Paris 1877.

Gellée in Chauveau. Le Pharynx. 1901, p. 355.

Gellée, M. E. L'audition. Paris 1897.

— Contraction du muscle et perte de sa conduction pour le son etc. Compt. rend. de la soc. d. biol. 1902, p. 401—404.

Gentilli. Der Glossograph. Leipzig 1882.

Giesswein, M. Die Resonanzbeziehungen zwischen Stimme und Brustorganen. Beitr. z. Anat., Physiol., Path. u. Therap. d. Ohres, d. Nase u. d. Halses **12** (1925).

Giesswein, M. Über die „Resonanz“ der Mundhöhle und der Nasenräume, im besonderen der Nebenhöhlen der Nase. Passow Schaefers Beiträge **4** (1911).

— Über Brustresonanz. Verhdl. d. Ges. deutsch. Hals-, Nasen- u. Ohrenärzte in Nürnberg 1921, S. 87.

Graef, K. Sprechtechnik. Reichsdruckerei 1923.

Grandgent, C. H. German and English sounds. Boston 1893.

Grassmann, H. Leitfaden der Akustik. Stett. Progr. 1854.

— und van Ginneken. Principes de linguistique psychlogique. Leipzig (Harrassowitz) 1907.

— Über die physische Natur der Sprachlaute. Wied. Ann. **1**, 606 (1877).

Grégoire. Variations de durée de la syllabe française. La parole 1899, I, p. 161, 263, 418.

Griesbach, H. Physical.-chem. Propaedeutik **2**. Der Schall. Leipzig 1915. Verl. Engelmann.

Grützner, P. Physiologie der Stimme und Sprache in Hermanns Handbuch der Physiologie **1**, 2 (Leipzig 1879).

— Breslauer ärztl. Zeitschr. **5**, 190 (1883).

— Recueil Zoologique suisse **1**, 665 (1884).

— Stimme und Sprache in Ergebnisse der Physiologie **2** (1902).

Guébhardt. Nouv. procedé phonéidoscopique. Congrès de Montpellier 1879.

Guillemin. Étude s. l. voix humaine. Thèse. Lyon 1888.

Guttmann, A. Messende Untersuchungen über Intonation beim Singen. Sitzg. d. Berliner Physiol. Ges. v. 22. 1. 1926.

Gutzmann, H. Über Media und Tenuis. Monatsschr. f. Sprachheilkunde 1901.

— Gaumensegel (Physiologie) in Eulenburgs Realenzyklopädie, 3. Aufl.

— Die Photographie der Sprache usw. Berlin. klin. Wochenschr. **33**, 413—416 (1896).

— Über die Tonhöhe der Sprechstimme. Monatsschrift f. Sprachheilk. 1906.

— Über den sogenannten primären Ton. Monatsschrift f. Schulgesang 1907, Nr. 7/8.

— Stimmbildung und Stimmpflege. München und Wiesbaden 1920.

— Zur Frage nach den gegenseitigen Beziehungen zwischen Brust- und Bauchatmung. Verh. d. Kongr. f. innere Medizin 1902, S. 508—518.

— Das Verhältnis der Affekte zu den Sprachstörungen. Zeitschr. f. klin. Medizin **57**, Heft 5 u. 6, 16 S. (1905).

— Unters. über die Grenzen der sprachk. Perzeption. Zeitschr. f. klin. Medizin **60** (1907).

— Über die Beziehungen der experimentellen Phonetik zur Laryngologie. 3. internat. Laryngo-Rhinol. Kongreß Berlin 1911.

— Über Stellung und Bewegung des Kehlkopfes bei normalen und pathologischen Sprechvorgängen. Beitr. z. Anat., Physiol., Pathol. u. Therap. des Ohres, der Nase und des Kehlkopfes von A. Passow **1**, Heft 1 u. 2

— Über die Stellung und Bewegung des Kehlkopfes bei normalen und pathologischen Sprechvorgängen. Beitr. z. Anat., Physiol., Pathol. u. Therap. des Ohres, der Nase und des Kehlkopfes von A. Passow **1**, Heft 5 u. 6.

Gutzmann, H. Über Stimmbildung und Stimmpflege in der Schule. Festschr. z. deutschen Lehrervers. Dortmund, Pfingsten 1908.
— Die Singstimme des Schulkindes. Arch. f. Laryngol. **20**, Heft 2.
— Über Hören und Verstehen. Zeitschr. f. angewandte Psychol. von W. Stern u O. Lipmann **1** (1908).
— Über die Wertigkeit der inneren Mundteile (Zunge, Zähne, Gaumen) für die physiologische Lautbildung. 5. internat. zahnärztlicher Kongreß Berlin 1909.
— Zur Messung der relativen Intensität der menschlichen Stimme. Beitr. z. Anat., Physiol., Pathol. u. Therap. des Ohres, der Nase und des Halses 1909.
— Über die Unterschiedsempfindlichkeit des sogenannten Vibrationsgefühls. 26. Kongreß, Wiesbaden 1909.
— Der Einfluß italienischer und deutscher Aussprache auf den Kunstgesang. Gesangspädagogische Blätter 1909.
— Über Atemvolummessung. Sonderabdruck aus d. Med. Klinik 1910, Nr. 24.
— Über „offen" und „gedeckt" gesungene Vokale. Beitr. z. Anat., Physiol., Pathol. u. Therap. des Ohres, der Nase und des Halses 1911.
— Die Analyse künstlicher Vokale. Verhandlungen des Vereins deutscher Laryngologen 1911.
— Beobachtungen der ersten sprachlichen und stimmlichen Entwicklung eines Kindes. Med.-pädag. Monatsschr. f. d. ges. Sprachheilk. 1911.
— Die Analyse künstlicher Vokale. Med.-pädag. Monatsschr. f. d. ges. Sprachheilk. 1911.
— Die Resonanzräume der Sprachlaute und ihre Klangwertung. Med.-pädag. Monatsschr. f. d. ges. Sprachheilk. 1911.
— Die graphische Registrierung der Stimm- und Sprachbewegungen. 3. internat. Laryngo-Rhinol. Kongreß.
— Über die Darstellung der Vokale mit einfachen Resonatoren. Verhandlungen des Vereins deutscher Laryngologen 1912.
— Untersuchungen über das Wesen der Nasalität. Sonderabdruck aus dem Archiv f. Laryngol. u. Rhinol. **27**, Heft 1 (1913).
— Neue Arten der Phonophotographie. Berl. klin. Wochenschr. Nr. 35 (1918).
— Kontraste Färbung der Schallkurven. Berl. klin. Wochenschr. Nr. 35 (1918).
— Über phonetische Transskription der sichtbaren und tastbaren Lautbildungen. Anwendung auf die Transskription des Georgischen. — Bemerkungen zur Sanskritschrift. Vox 1919, H. 6.
— Über den intrapulmonalen Druck und den Luftverbrauch bei der normalen Atmung, bei phonetischen Vorgängen und bei der exspiratorischen Dyspnoe. Gutzmann und Loewy. Pflügers Arch. f. d. ges. Physiol. d. Menschen u. d. Tiere **180**, 111. Berlin, Springer, 1920.
— Über den intrapulmonalen Druck und den Luftverbrauch bei normaler und pathologischer Atmung, sowie bei der Stimmgebung. Sonderabdruck der Berl. klin. Wochenschr. **26**, 609 (1920).
— Ein Maß für die Nasalität. Extrait des Archives Néerlandaise de Physiologie de l'Homme et des Animaux **7**, 321 (1922).
— Psychologie der Sprache. Handb. d. vergl. Psychol. **2**, Abt. 1 (1922).

Gutzmann, H. Phonetischer Anhang. Denker-Brünings, Lehrbuch der Hals-, Nasen- und Ohrenkrankheiten 1925, 10./11. Aufl.
— H., jun. Sprachstörungen. Die Fortschritte der Zahnheilkunde **2**, 869 (1926).
— Die Fachliteratur über Stimm- und Sprachstörungen und über die Phonetik von 1919—1925. Folia Oto-Laryngologica **25**, 297—342.
Hagelin. Stomatosk. Und. af franska språkljnd. Stockholm 1889.
Hasslinger, F. Der intratracheale Druck unter normalen und pathologischen Verhältnissen. Zeitschr. f. Hals-, Nasen- u. Ohrenheilk. **16**, 306 Heft 2, (1926).
Have, J. Th. ten. Over ademsnelheid, ademgroote en ademarbeid. Onderz. Phys. Lab. Utrecht (Abdruck).
Heinitz, W. Ein Beitrag zur Eichungsmethode für die Untersuchung von Atembewegungskurven. Vox 1919. Heft 6, S. 157.
Hellat, P. Von der Stellung des Kehlkopfes beim Singen. Arch. f. Laryngol. u. Rhinol. **8**, 340 (1898).
Hellwag, C. De formatione loquelae (1781).
Helmholtz. Über die Vokale. Arch. f. holl. Beitr. z. Nat.- u. Heilk. **1**, 384 (1857).
— Über die Klangformen der Vokale. Gel. Anz. d. königl. bayr. Akad. d. Wiss. 1859, S. 537; auch in Pogg. Ann. **108**, 280.
— Die Lehre von den Tonempfindungen. Braunschweig 1863. 5. Aufl. 1896.
Hensen, V. Ein einfaches Verfahren zur Beobachtung der Tonhöhe eines gesungenen Tones. Arch. f. Anat. u. Physiol. (Physiol. Abt.) 1879, S. 155.
— Über die Schrift von Schallbewegungen. Zeitschr. f. Biol. **23**, 291 (1887).
— Die Harmonie in den Vokalen. Zeitschr. f. Biologie **28**, 39 (1891).
— Vorführung der Resonanztöne der Mundhöhle für einige Vokale. Arch. ital. de biol. **36**, 49 (1901).
Hentrich. Über den Einfluß der Dauer auf die Stimmhaftigkeit von Verschlußlauten. Vox 1925, S. 21.
Hermann, L. Phonophotographische Untersuchungen. Pflügers Arch. **45**, 282; **47**, 42, 44, 347; **48**, 181, 543, 574 ff.; **53**, 1 ff.; **58**, 255 ff. (mit Matthias „Über Konsonanten", S. 264 ff.); **59**, 104; **61** (Weitere Untersuchungen über das Wesen der Vokale, S. 169 ff., mit Hirschfeld) (1889—1895); **83** (Fortgesetzte Untersuchungen über die Konsonanten), S 1—32 (1900) (Konsonanten).
— Über das Verhalten der Vokale am neuen Edisonschen Phonographen. Pflügers Arch. **47**, 44.
— Über Synthese von Vokalen. Pflügers Arch. **91**, 135—163 (1902).
— Neue Beiträge zur Lehre von den Vokalen und ihrer Entstehung. Arch. f. d. ges. Physiologie **141**.
Intrau, O. Experimentell-statistische Singstimmen-Untersuchung. Zeitschr. f. Biologie **84**, Heft 1.
Isserlin, M. Psychologisch-phonetische Untersuchungen (Erste Mitteilung). Allgemeine Zeitschr. f. Psychiatrie **75**, 1—33 (1919). Zweite Mitteilung: Zeitschr. f. d. gesamte Neurologie u. Psychiatrie **94**, Heft 2/3.
Jacobson, A. Zur Lehre vom Bau und der Funktion des m. thyreo-arytaenoideus beim Menschen. Arch. f. mikroskop. Anatomie **29**, 617.

Jaensch, E. R. und Rothe, G. Die psychologische Akustik der Sprachlaute in ihrer Beziehung zu Fragestellungen der Wissenschaften von der Sprache. Festscrift tillägnad Hugo Pipping. Svenska Litteratursallskapet i Finland **175**, 192 ff. (1924).

Jenkin und Ewing. Der Phonograph und die Vokalklänge. Nature **17**, 482; **18**, 167, 340, 394, 454 (1878).

— Analysen der Vokalklänge mittels des Phonographen. Trans. R. Soc. of Edinb. **28**, 745 (1879).

Jespersen, O. Fonetik. En systematic etc. Kobenhavn 1887—1890.

— Phonetische Grundfragen. Leipzig 1904.

— Lehrbuch der Phonetik. 1904.

Joseph L. Übungen zum Ableseunterricht für Ertaubte und Schwerhörige. Berlin 1923.

Katzenstein. Über die Lautgebungsstelle in der Hirnrinde des Hundes. Arch. f. Laryngol. **20**.

— Über Brust- und Falsettstimme. Zeitschr. f. klin. Medizin **62**.

— Methoden zur Erforschung der Tätigkeit des Kehlkopfes sowie der Stimme und Sprache. Handb. d. biol. Arbeitsmethoden v. E. Abderhalden. Abteil. 5, Teil 7, S. 261 (1923).

Kempelen. Mechanismus der menschlichen Sprache usw. Wien 1791.

Kempf-Hartmann, R. Photographische Darstellung der Schwingungen von Telephonmembranen. Ann. d. Phys. **8**, 481—538 (1902), 4. Folge.

— Über den Einfluß der Amplitude auf Tonhöhe und Dekrement von Stimmgabeln usw. (Diss. Würzburg 1902). Frankfurt 1903, 255 S.

Kendrick. Sound and Speech waves revealed by the Phonographic. London 1897.

—, M. Demonstration of an improved phonograph recorder. Proc. Roy. Soc. Edinb. 1896/1897, XXI, p. 194.

— Observations on the phonograph. Trans. Roy. Soc. Edinb. 1897, XXXVIII, p. 765.

— and Gray. On vocal sounds. Schaefers Text-Book of Physiology II, p. 1227, 1229. London 1900.

—, Murray and Wingate. Comittee report on the physiol. applications of the phonograph and on the form of the voice curves by the instrument. Roy. Brit. Ass. Adr. Sc. 1896, p. 669.

Kerppola, W. und Walle, D. F. Über die Genauigkeit eines nachgesungenen Tones. Skandin. Arch. f. Physiol. **33**, Heft 1—3, S. 1, 1925.

Kickhefel, G. Untersuchungen über die Exspiration und über das Pfeifen im luftverdichteten Raume. Arch. f. Laryngol. u. Rhinol. **32**, Heft 3.

Kingsley. Illustrations of the articulations of the tongue. Int. Zeitschr. f. Sprachen **3**, 226 (1887).

Klestadt. Zur qualitativen Analyse der Sprechatmung. Zeitschr. f. Hals-, Nasen- u. Ohrenheilk. **12**, 2. Teil, S. 257 (1925).

Klinghardt, H. Artikulations- und Hörübungen. Köthen 1897.

Klünder. Ein Versuch, die Fehler zu bestimmen, welche der Kehlkopf beim Halten eines Tones macht. Marburg 1872.

König, R. Sur les notes fixes charact. des div. voyelles. C. R. **70**, 931 (1870).

— Quelques expériences d'acoustique. Paris 1882.

Koschwitz. Experimentalphonetische Studien. Arch. f. neuere Sprachen **88**, 241—266 (1892).

Kraepelin, E. Allgemeine Psychiatrie. 7. Aufl. (1903).

Kratzenstein. Tentamen coronatum de voce. Petropol. 1780. Observ. s. l. physique 1782.

Kroiss, K. Methodik des Hörunterrichts. Wiesbaden 1903.

Krönig. Notiz über Vokallaute. Pogg. Ann. **157**, 339 (1876).

Krueger, F. Beobachtungen an Zweiklängen. Wundts Philos. Stud. **16**, 307—379, 568—664 (1900).

— Zur Theorie der Kombinationstöne. Wundts Philos. Stud. **17**, 185—310 (1901).

— Berichte über den 1. Kongreß für experimentelle Psychologie (Gießen). Leipzig 1904. Siehe Diskussion des Marbeschen Vortrags, S. 97.

— und Wirth, W. Ein neuer Kehlkopfschreiber. Wundts Psychol. Stud. **1**, Heft 1 (1901).

— — Die Theorie der Konsonanz. Wundts Psychol. Stud. **1** (1905); **2** (1906).

— — Die Messung der Sprechmelodie als Ausdrucksmethode. Atti del V. congresso intern. di psicol. (1905). Rom 1906.

Krzywicki, C. v. Über die graphische Darstellung der Kehlkopfbewegungen usw. Diss. Königsberg 1892.

Lahr. Die Grassmannsche Vokaltheorie im Lichte des Experiments. Wied. Ann. **27**, 94 (1886).

Lermoyez. Étude exp. s. l. phonation. Thèse. Paris 1886.

Lippich. Studien über den Phonautographen von Scott. Sitzungsber. d. Wien. Akad. Math.-naturw. Klasse **50**, II. Abt., S. 397 (1864).

Lloyd. Speech sounds, their nature and causation. Phonet. Stud. **3**, 251; **4**, 37 usw. (1890 ff.).

— Some researches into the nature of vowel sound. Liverpool 1890.

— Journal of anat. and physiol. **31**, 233 (1896).

— Proc. of the Royal Soc. of Edinburgh **22**, 97 (1898).

Loebell. Ein neues Stroboskop. Zeitschr. f. Hals-, Nasen- u. Ohrenheilk. **15**, 371, Heft 2/4.

Loewy, A. und Schroetter, H. Über den Energieverbrauch bei musikalischer Betätigung. Berlin 1926. (Pflügers Archiv f. d. ges. Physiologie **211**, 3—26.)

Löwenberg. Akustische Untersuchungen über die Nasenvokale. Deutsche med. Wochenschr. 1889, S. 518.

Lucae, A. Zur Prüfung des Sprachgehörs. Arch. f. Ohrenheilk. 1905, S. 155.

Marage. Phonation et audition d'après les travaux récents publiés en France. Année psychol. **8**, 257—298 (1902).

— Compt. rend. de l'Acad. des Sciences **128**, 425 (1899).

— Compt. rend. de la Soc. de biol. 1899, p. 933.

Marbe, K. Über den Rhythmus der Prosa. Gießen 1904. Vgl. Ber. d. I. Kongr. f. exper. Psychol. Leipzig 1904.

Marbe, K. Über elektrisch erzeugte Flammenbewegungen. Physik. Zeitschr., 8. Jahrg., Nr. 12, S. 415.
— Objektive Bestimmung der Schwingungszahlen Königscher Flammen ohne Photographie. Physik. Zeitschr., 7. Jahrg., Nr. 15, S. 543.
— Erzeugung schwingender Flammen mittels Luftübertragung. Physik. Zeitschr., 8. Jahrg., Nr. 3, S. 92.
— Die Anwendung rußender Flammen in der Psychologie und ihren Grenzgebieten. Vortr. a. d. III. Kongreß f. experimentelle Psychologie Frankfurt a. M. 1908.
Marey, E. J. Physiologie expérimentale. T. 1 u. 2. Paris 1875—1876.
— La méthode graphique dans les sciences expérimentales. Paris 1885.
Marichelle, M. La parole d'après le tracé du phonographe. Paris 1897.
Martens. Über das Verhalten von Vokalen und Diphthongen in gesprochenen Worten. Zeitschr. f. Biol. **25**, 289—327 (1889); auch Inaug.-Diss. (Kiel) 1888.
Martini, P. Studien über Perkussion und Auskultation. Habilitationsschr. München 1922.
Masing, L. Die Hauptformen des serbisch-chorwatischen Akzents usw. (Diss. Leipzig). Mém de l'Acad. d. sciences de St. Pétersbourg. VII. Série. 1876.
Mayer, A. M. Phonograph. Nature **17**, 469 (1878).
Meder, F. und Reichenbach, E. Orthopädisch-prothetische Maßnahmen zur Behebung von Sprachstörungen. Die Fortschritte der Zahnheilk. **1** (1925); **2** (1926), Lief. 9; **3** (1927).
Meinhof. Linguistik 1906 in Neumayers Anleitung **2**, 463, 3. Aufl.
Mercadier. Reprod. téléph. d. l. parole. C. R. **113**, 216 (1891).
Meriggi. Labiographische Untersuchungen an Nasalverbindungen. Vox 1926, S. 23.
Merkel, C. L. Anatomie und Physiologie des menschlichen Stimm- und Sprachorgans (Anthropophonik). Leipzig 1856, 2. Aufl. 1863.
— Physiologie der menschlichen Sprache. Leipzig 1866.
Meyer, E. A. Zur Tonbewegung des Vokals im gesprochenen und gesungenen Einzelwort. Die neueren Sprachen **4**, 1—21 (1896), Beiblatt 10.
— Beiträge zur deutschen Metrik. Die neueren Sprachen **6**, 122 ff. (1898).
— Stimmhaftes *H*. Die neueren Sprachen **8**, 260—283 (1900).
— Die Silbe. Die neueren Sprachen **6**, 479—493 (1898).
—, G. H. Stimm- und Sprachbildung. Berlin 1871.
Michaelis. Zur Lehre von den Klängen der Konsonanten. 1879.
Miller. Dayton Clarence, The science of musical sounds. New York, Mac Millan Comp., 1922.
Minnigerode, W. Die Topographie des Kehlkopfgerüstes. Die Ohrenheilk. der Gegenwart u. ihre Grenzgebiete. H. XI. München 1927.
Mönch. La durée des voyelles françaises. Die neueren Sprachen **3**, 581—587 (1895).
Mollier. Über die Öffnungsbewegung des Mundes. Gesellsch. f. Morphologie u. Physiologie in München. Sitzung v. 22. Febr. 1927.
Morochowetz. Die Grundlaute der menschlichen Sprache. Berlin 1908.
Mosso, A. Über die gegenseitigen Beziehungen der Bauch- und Brustatmung. Arch. f. Anat. u. Physiol. 1878, S. 441.

Müller, Joh. Handbuch der Physiologie 1842.
— Über die Kompensation der physischen Kräfte am menschlichen Stimmorgan mit Bemerkungen über die Stimme der Säugetiere, Vögel und Amphibien. Berlin 1839.

Musehold, A. Stroboskopische und photographische Studien über die Stellung der Stimmlippen im Brust- und Falsettregister. Arch. f. Laryngol. u. Rhinol. **7**, 1 (1898).
— Allgemeine Akustik und Mechanik des menschlichen Stimmorgans. Berlin, J. Springer, 1913.

Nadoleczny, M. Untersuchungen über den Kunstgesang. Berlin 1922.
— Physiologie der Stimme und Sprache. Handb. d. Hals-, Nasen- u. Ohrenheilk. von Denker und Kahler **1**, 621. Berlin und München 1925.
— Phonetik und Heilkunde. Münch. med. Wochenschr. 1922, Nr. 22, S. 826—828.
— Hygiene des Sprechens. Südd. Monatshefte 1912. Nov.
— Untersuchungen mit dem Atemvolumschreiber über das pulsatorische Tremolo der Singstimme. Zeitschr. f. Hals-, Nasen- u. Ohrenheilk. **4**, Heft 1.
— Über Richtigkeit und Fehler der Aufschreibung von Kehlkopfbewegungen mit dem Zwaardemakerschen Apparat (nebst Prüfung seiner Leistungsfähigkeit). Passow-Schäfers Beitr. **10**, Heft 3/4.
— Kurzes Lehrbuch der Sprach- und Stimmheilkunde. Leipzig 1926.

Nagel und Samojloff. Einige Versuche über die Übertragung von Schallschwingungen usw. Arch. f. Anat. u. Physiol. (Physiol. Abt.) 1898, S. 505.

Nagel, W. Physiologie der Stimmwerkzeuge. In Nagels Handbuch der Physiol. d. Menschen **4**, 691 (1909). Hier ist eine ausgezeichnete Zusammenstellung der Physiologie der Stimme und Sprache mit vollständiger Literatur gegeben.

Naunyn, B. Die organischen Wurzeln der Lautsprache des Menschen. München 1925 (Bergmann).

Nuvoli. Fisiologia ecc. degli organi vocali in relaz. all' arte del canto e della parola. Milano 1889.

Oertel. Das Laryngostroboskop und die laryngostroboskopische Untersuchung. Arch. f. Laryngol. u. Rhinol. **3**, 1 (1895).

Osthof und Brugmann. Morphologische Untersuchungen auf dem Gebiete der indogermanischen Sprachen I. Leipzig 1878.

Panconcelli-Calzia, Giulio. Quelques Remarques sur la méthode graphique. Neuere Sprachen **13** (Jan. 1906), Heft 9, S. 568 ff.
— Experimentalphonetische Rundschau. Neuere Sprachen seit Jan. 1906.
— De la nasalité en Italien. Paris 1904.
— Experimentelle Phonetik. Sammlung Göschen 1921.
— Die experimentelle Phonetik in ihrer Anwendung auf die Sprachwissenschaft. Berlin 1924.
— Über Palatogrammetrie. Voy 1918, Heft 5/6, S. 172 ff.

Passy, P. Étude sur les changements phonétiques etc. Paris 1890.
— Phonétique comparée. Leipzig 1906.

Paul. Grundriß der germanischen Philologie. Straßburg 1897.

Paulsen, E. Die Singstimme im jugendlichen Alter und der Schulgesang. Kiel 1900.
— Untersuchungen über die Tonhöhe der Sprache. Pflügers Arch. **74**, 570—576 (1899).
— Über die Singstimme der Kinder. Pflügers Arch. **61**, 407—476 (1895).
Pipping. Besprechung der Abhandlung Lloyds. Zeitschr. f. französisch. Sprach. u. Lit. **16** (2), Heft 3/4.
— Zur Klangfarbe der gesungenen Vokale. Zeitschr. f. Biol. **27**, 1—80 (1890); Nachtr. S. 433—439.
— Om Hensens Fonautograf som ett hjälpmedel für språkvetenskapen. Helsingfors 1890.
— Zur Lehre von den Vokalklängen. Zeitschr. f. Biol. **31**, 524—583 (1895).
— Über die Theorie der Vokale. Acta Societ. Scien. Fennical. **20**, Nr. 11, 66 S. (1895).
— Zur Phonetik der finnischen Sprache. Mém. de la Soc. finnoongr. **14**, 236 (1899).
Poirot. Phonetik. Handb. d. physiol. Methodik v. Tigerstedt **3**, 6. Leipzig 1911.
Pollak, H. W. Phonetische Untersuchungen. Sitzungsber. d. Akad. d. Wiss. in Wien, philos.-histor. Klasse, **164**, 5 (1911).
Preece und Stroh. On the synth. examination of vowel sounds. Proceed. R. Soc. London **28**, 358 (1879).
Qvanten. Zur Helmholtzschen Vokaltheorie. Pogg. Ann. 1875, Heft 2 u. 4.
Rabotnoff, L. D. Zur Frage über die Stimmbildung bei Sängern. Zeitschr. f. Hals-, Nasen- u. Ohrenheilk. **2**, Heft 3/4.
— Neue Tatsachen in der Physiologie der Stimme bei Sängern. Zeitschr. f. Hals-, Nasen- u. Ohrenheilk. **5**, Heft 3/4.
— Über die Funktion des weichen Gaumens beim Singen. Zeitschr. f. Hals-, Nasen- u. Ohrenheilk. **11**, Heft 4.
Raps. Über Luftschwingungen. Wied. Ann. **50**, 193—220 (1893).
Reichenbach, E. Bemerkungen zu Fröschels Arbeit: Über eine noch nicht beschriebene Mitbewegung.
Réthi, L. Beziehung zwischen Weite der Nasenhöhle und der Resonanz der Stimme. Stimme 1918, S. 193.
— Experimentelle Untersuchungen über den Luftverbrauch beim harten und weichen Tonansatz. Wien. Med. Wochenschr. 1913, Nr. 9.
Reuter, C. Zeitschrift für Ohrenheilkunde **47**, 91.
— Onderz. Phys. Lab. Utrecht [5] **5**, 239.
Roorda, P. De klankkleer en hare practische Toepassing. Groningen 1889.
Rosapelly. Inscription d. mouv. phonétiques. Trav. d. lab. de Marey **2**, 109. Paris 1876.
Roudet. Recherches sur le rôle de la pression sous-glottique dans la parole. La parole 1900, II, p. 599.
— De la dépense de l'air dans la parole etc. La parole **2**, 209 ff. (1900).
Rousselot. Les modifications phonét. du langage études dans le patois d'une famille de Cellefronin. Rev. des patois gallo-romains 1891, p. 65. Referat von Behrens. Zeitschr. f. franz. Sprach. u. Lit. **14** (w).

Rousselot. Sur les caractéristiques des voyelle etc. Compt. rend. de l'Acad. d. sciences **137**, 40—43 (1903).

— La méthode graphique, appliquée à la recherche des transformations inconscientes du langage. Compt. rend. du congrès scientifique international des catholiques tenu à Paris, 1—6. avril 1891. 6 sect. Philologie, p. 109ff. Paris 1891.

— Principes de phonétique expérimentale. 2 Bde., I. Paris 1897; II. 1901 (unvollständig).

Ruederer, H. Über die Wahrnehmung des gesprochenen Wortes. Diss. München 1916.

Samojloff, A. Zur Vokalfrage. Pflügers Arch. **78**, 1—37 (1899).

— Graphische Darstellung der Vokale. Physiologiste Russe **2** [II], 62 (1900).

Saran, Fr. Melodik und Rhythmik der Zueignung Goethes. Stud. z. deutsch. Philologie. Halle 1903.

Sauberschwarz, E. Interferenzversuche mit Vokalen. Pflügers Arch. **61**, 1—31 (1895).

Savart. Zahlreiche Abhandlungen über die Stimme in C. R. Ac. Sc. und in Ann. de chim. et de Phys. 1825—1829.

Schaefer, Karl L. Eine neue Erklärung der subjektiven Kombinationstöne auf Grund der Helmholtzschen Resonanzhypothese. Pflügers Arch. **78**, 505.

— und Abraham, Otto. Studien über Unterbrechungstöne. Pflügers Arch. **83**, 207.

— und Guttmann, A. Über die Unterschiedsempfindlichkeit für gleichzeitige Töne. Zeitschr. f. Psychologie und Physiologie der Stimmorgane **32**, 87ff.

Scheier, M. Die Verwertung der Röntgenstrahlen für die Physiologie der Sprache und Stimme. Arch. f. Laryngol. **7** (1897).

— Die Bedeutung des Röntgenverfahrens für die Physiologie der Sprache und Stimme. Arch. f. Laryngol. u. Rhinol. **22** (1909).

Schilling, R. Zur Frage des Einatmungsweges beim Sprechen und Singen. Stimme **18**, Heft 6.

— Gesang und Kreislauf. Zeitschr. f. Hals-, Nasen- u. Ohrenheilk. Kongreßbericht **3** (1922).

— Über den Einfluß der Vokalstellungen auf den Atemtypus und den phonischen Nullpunkt. Med. Ges. Freiburg i. Br. Sitzung vom 5. Febr. 1924 (Klin. Wochenschr., 3. Jahrg., Nr. 15).

— Singen in bewegter Luft. Stimme **19**, Heft 2/3.

— Die Zwerchfellbewegungen beim Sprechen und Singen. Deutsche med. Wochenschr. 1922, Nr. 46.

— Die Untersuchungsmethoden der Stimme und Sprache. Handb. der Hals-, Nasen- u. Ohrenheilk. v. Denker und Kahler **1** (1925).

— Die Untersuchungen der Atembewegungen mit Hilfe objektiver Methoden. Jena 1926 (Aus dem Arbeitsgebiet des Sportarztes).

— Über die Anwendung der Kollektivmaßlehre in der Phoniatrie. Zeitschrift f. Hals-, Nasen- u. Ohrenheilk. **12** (2), 672—677. Berlin 1925.

— Experimentalphonetische Untersuchungen bei Erkrankungen des extrapyramidalen Systems. Arch. f. Psychiatrie usw. **75**, Heft 4—5. Berlin 1925.

Schilling, R. Ein Reifeichungsverfahren für Gürtelpneumographen. Arch. f. Laryngol. u. Rhinol. **34**, 235—256. Berlin 1921.

— Untersuchungen über die Atembewegungen beim Sprechen und Singen. Monatsschr. f. Ohrenheilkunde und Laryngo-Rhinologie. 59. Jahrg. Heft 1—6. Wien 1925.

Schneebeli. Sur la théorie du timbre et part. des voyelles. Arch. de Genève [2] **64**, 79; [3] **1**, 149 (1878—1879).

Schutter, W. Luftdruckschwankungen in der Trachea bei Nasen- und Mundatmung unter normalen physiologischen Verhältnissen. Acta oto-laryngologica, Bd. VIII, Fasc. 3, S. 450.

Schwan und Pringsheim. Der französische Akzent. Arch. f. neuere Sprachen **85**, 203 (1890).

Scott. Inscription automatique des sons de l'air au moyen d'une oreille artificielle 1861.

— Phonautographe. Ann. du Conservatoire des Arts et Métiers. Oktober 1864.

Scripture, E. W. Researches in experimental phonetics. Stud. Yale. Psych. Lab. **7**, 1—101 (1899); **10**, 49—80 (1900).

— Speech curves. Modern lang.-notes **16**, 143—158 (1901).

— On the nature of vowels. Amer. Journ. of science **11**, 302—309 (1901).

— Studies of melody in English speech. Wundts Philos. Stud. (Festschrift) **19**, 599—615 (1902).

— The elements of experimental phonetics. New York and London 1912.

— A record on the melody of the Lords prayer. Die neueren Sprachen **10**, 513—548 (1903).

— New machine for trancing speech curves. Amer. Journ. of science **15**, 447—449 (1903).

— Die epileptische Sprachmelodie. Arch. f. Psychiatrie **72**.

— Über das Studium der Sprachkurven. Ostwalds Annalen der Naturphil. **4**, 28—46 (1903).

— Researches in Experimental Phonetics. The Study of Speech Curves. Washington D. C. 1906.

— Grundbegriffe der Sprachneurologie. Arch. f. Psychiatrie usw. **77**, 573—595. Berlin 1926.

— Die Anwendung der graphischen Methode auf den Taubstummenunterricht. Zeitschr. f. Hals-, Nasen- u. Ohrenheilk. **19**, Heft 1. Berlin 1927.

Seemann, J. Neue Aufnahmen der menschlichen Stimme. Zeitschr. f. biol. Technik u. Methodik **1** (1908).

Sievers, E. Grundzüge der Phonetik. Leipzig 1876, 5. Aufl. 1901.

Silbiger, B. Metrische Studien. I. Ber. d. Sächs. Akad. d. Wiss. 1901.

— Phonetik. Pauls Grundriß der germanischen Philologie (1891). Straßburg 1897, 2. Aufl., S. 233 ff.

— Zur Charakteristik der Mutation. Zeitschr. f. Laryngol. **16**, Heft 2. Leipzig 1927.

Skramlik, E. v. Physiologie des Kehlkopfes. Handb. d. Hals-, Nasen- u. Ohrenheilk. v. Denker u. Kahler. Bd. I. Berlin u. München 1925.

Sokolowsky. Zur Charakteristik der Vokale. Zeitschr. f. Hals-, Nasen- u. Ohrenheilk. Kongreß in Kissingen. Bd. VI, 1923, S. 556.

— Über die Genauigkeit des Nachsingens von Tönen bei Berufssängern. Beitr. z. Anat., Physiol., Pathol. und Therapie des Ohres, der Nase und des Halses **5**, 204, 1911.

— Versuch einer Analyse fehlerhaft gebildeter Gesangstöne. Arch. f. experiment. Phonetik 1914, S. 328.

Sommer, R. Psychopathologische Untersuchungsmethoden 1899.

Stern, H. Der Sigmatismus nasalis (Gaumensegelverschluß). Arch. f. Laryngologie **34**.

— Stimmlippenfunktionsfrage — Resonanzfrage, deren gegenseitige Beziehungen und Bedeutung in wissenschaftlicher und praktischer Hinsicht. Monatsschr. f. Ohrenheilk. u. Laryngo-Rhinologie. 61. Jahrg. Heft 5—6. Wien 1927.

— Die Bedeutung des sogenannten primären Tons für die Stimmbildung. Monatsschr. f. Ohrenheilk. u. Laryngo-Rhinologie **44**, Nr. 8, 1910.

— Gesangsphysiologie und Gesangspädagogik in ihren Beziehungen zur Frage der Muskelempfindungen und der beim Singen am Schädel und am Thorax fühlbaren Vibrationen. Monatsschr. f. Ohrenheilk. **46**, 337 (1912).

Stolze, F. Über die Funktionen der Zunge bei der Hervorbringung von Vokalen. Zeitschr. f. neuere physik. Medizin 1907, S. 34.

Storm, J. Englische Philologie. 2. Aufl. Leipzig 1892—1896.

Streim, H. Über die Bearbeitung von Atemkurven. Vox 1919. S. 1.

Struycken, H. J. L. Der Lichtpunkt, dessen chronographische Beobachtung und photographische Aufnahme. Vox 1922, Heft 3—6.

— Der Doppelmembranapparat. Vox 1921, Heft 5/6.

— Über die Beziehungen der experimentellen Phonetik zur Laryngologie. 3. Internat. Laryngo-Rhinol. Kongreß Berlin 1911.

Stumpf, C. Tonpsychologie. Leipzig 1883, 1890.

— Die Anfänge der Musik. Leipzig 1911.

— Sprachlaute. Berlin 1926.

— Zur Analyse geflüsterter Vokale. Passow-Schaefers Beitr. **12**, Heft 1—6, (1919).

— und v. Allesch, G. Über den Einfluß der Röhrenweite auf die Auslöschung hoher Töne durch Interferenzröhren. Passow-Schaefers Beitr. **17**, Heft 4—6 (1921).

— Zur Analyse der Konsonanten. Passow-Schaefers Beitr. **17**, Heft 4—6 (1921).

— Veränderungen des Sprachverständnisses bei abwärts fortschreitender Vernichtung der Gehörsempfindungen. Passow-Schaefers Beitr. **17**, Heft 4—6 (1921).

— Über die Tonlage der Konsonanten und die für das Sprachverständnis entscheidende Gegend des Tonreiches. Sitzungsber. d. pr. Akad. d. Wiss. 1921. XXXIX.

— Singen und Sprechen. Zeitschr. f. Psychol. **94** (1923).

Stumpf, C. Phonetik und Ohrenheilkunde. Passow-Schaefers Beitr. **22** (1925).
— Sprachlaute und Instrumentalklänge. Zeitschr. f. Physik **38**, Heft 9/10.
Sütterlin. Die Lehre von der Lautbildung. Leipzig 1916.
Sweet, H. The practical study of languages. London 1899.
— Handbook of Phonetics 1877.
Tamm, A. Felen vid uttalet av R-ljudet och deras avhjälpande. Vejle, Schneitzers Bogtrykkeri, 1926.
Techmer. Phonetik. 2 Bde. Leipzig 1880.
— Naturwissenschaftliche Analyse und Synthese der hörbaren Sprache. Int. Zeitschr. f. Sprachwiss. **1**, 69 (1884).
— Beiträge zur Geschichte der Phonetik und Phonographie. Int. Zeitschr. f. Sprachwiss. **5**, 145 (1889).
Thiéry, A. Le tonal de la parole. Extr. de la Rev. Néo-Scolast. 1900 et 1901. Louvain 1901. 95 S.
Tonndorf, W. Die Mechanik bei der Stimmlippenschwingung und beim Schnarchen. Zeitschr. f. Hals-, Nasen- u. Ohrenheilk. **12**, 241, Heft 2.
— Die Schwingungszahl der Stimmlippen. Zeitschr. f. Hals-, Nasen- u. Ohrenheilk. **15**, 363, Heft 2—4.
Treitel. Über die Stimme kleiner Kinder. Zentralbl. f. Physiol. **15** (1891).
Trendelenburg, F. Objektive Klangaufzeichnungen mittels des Kondensatormikrophons. Wissenschaftl. Veröffentlichungen a. d. Siemens-Konzern, III. Bd., 2. Heft und IV. Bd., 1. Heft (auch in der Zeitschr. f. technische Physik, V. Jahrg., Nr. 6, 1924).
Unser, H. Über den Rhythmus der deutschen Prosa. (Diss. Freiburg.) 38 S. Heidelberg 1906.
Verdin, Ch. Catalogue des instruments de précision. III. Phonetique. 33 S. Paris 1905.
Verschuur, A. Klankleer van het Noord-Bevenlandsch. Diss. Amsterdam 1902.
Vierordt. Die Schall- und Tonstärke, S. 235. Tübingen 1885.
Viëtor, W. Kleine Beiträge zur Experimentalphonetik. Die neueren Sprachen. Neue Folge [2] **1** (1894). Beibl. Phonet. Stud., S. 25—36.
— Elemente der Phonetik. Leipzig 1898.
Wagner, Ph. Der gegenwärtige Lautbestand der schwäbischen Mundart in Reutlingen. Reutlingen 1889—1891. Programm.
— Über die Verwendung des Grützner-Mareyschen Apparates und des Phonographen zu phonetischen Untersuchungen. Phonet. Stud. **4**, 68 (1890).
— Französische Quantität. Phonet. Stud. **6** (1892).
Wallace, Wallin J. E. Researches on the rhythm of speech. Stud. Yale Psych. Lab. **11**, 1—142 (1901).
Weinberg, K. Studien über das Stimmorgan bei Volksschulkindern. Arch. f. Laryngol. u. Rhinol. **30**, Heft 2.
Weiss, O. und Joachim, G. Pflügers Arch. **123**, 341.
Weleminsky, J. Zur Physiologie und Pathologie der Bewegungsvorgänge am Kehlkopf. Zeitschr. f. Hals-, Nasen- u. Ohrenheilk. **16**, 374—407, Heft 3 (1926).

Wendeler. Ein Versuch, die Schallbewegung einiger Konsonanten graphisch darzustellen. Zeitschr. f. Biol. **13**, 303 (1887).

Wethlo, F. Versuche mit Polsterpfeifen. Passow - Schaefers Beitr. Anat., Physiol. u. Therap. d. Ohres, d. Nase u. d. Halses **6**, 268 (1913).

— Zur Technik der Stroboskopie. Vox 1915, Heft 1—6.

— Zur Registrierung von Atembewegungen. Stimme **20**, Heft 8.

— Das *R* im Kunstgesang. Stimme **18**, Nr. 2 (1924).

— Das Gehör des Stimmbildners. Stimme **21**, Nr. 5 (1927).

— Vom Wesen der Resonanz. Stimme **20**, Nr. 5 (1926).

Wheatstone, C. The London and Westminster Review 1873, p. 27.

Wilczewski, S. v. Stimmhaftigkeit und Hauch bei Lippenlauten. Vox 1925, Heft 8.

— Phonoposotische und phonotopische Untersuchungen von Lippenlauten. Vox 1922. S. 64.

Willis. Über die Vokaltöne und Zungenpfeifen. Pogg. Ann. **24**, 397 (1832).

Wiltse. Experimental Amer. Journ. of Psych. 1888, I, p. 702.

Winteler, J. Die Kerenzer Mundart des Kantons Glarus usw. Leipzig und Heidelberg 1876.

Wolf. Sprache und Ohr. Braunschweig 1871.

— Die Hörprüfung mittels der Sprache. Zeitschr. f. Ohrenheilk. 1899, S. 289.

Wundt, W. Sprachgeschichte und Sprachpsychologie. Leipzig 1901.

— Völkerpsychologie. I. Bd.: Die Sprache (Leipzig 1900). 2. Aufl. 1904.

Zahn, v. Akustische Analyse der Vokalklänge. Leipzig 1882.

Zimmermann. Vibrationen des Schädels beim Singen. Stimme **5**, 193 (1911).

Zwaardemaker und Minkema. Über die beim Sprechen auftretenden Luftströme und über die Intensität der menschlichen Stimme. Arch. f. Anat. u. Phys., phys. Abt. 1906, S. 433.

— — Über die beim Sprechen auftretenden Luftströme und über die Intensität der menschlichen Sprechstimme. Utrecht 1906. Onderzoekingen gedaan in het Physiologisch Laboratorium der Utrechtschen Hoogeschool. Uitgegeven door C. A. Pekelharing en H. Zwaardemaker.

— Die experimentelle Phonetik vom medizinischen Standpunkte. XVI. Congrès I. M. 15 Sect.

— Les Mouvements respiratoires et leurs Conséquences aerodynamiques. Ann. de la Soc. méd.-phys. d'Anvers 1904.

— L'analogue graphique de l'écriture analphabétique par signes de Jespersen en phonétique. Archives néerlandaises de Physiologie de l'Homme et des Animaux, tome XI, 4e livraison, p. 509 (1927).

— Über den dynamischen Silberakzent. Vox 1913. S. 7.

— Über Intermittenztöne. Arch. f. Anat. u. Physiol. 1900.

— Graphieck de Spraakbeweging. Onderzoek. Physiol. Lab. Utrecht **5**, 59—110 (1899).

— Über den Akzent nach graphischer Darstellung. Monatsschr. f. Sprachheilk. 1900, Heft 9 und 10.

Zwaardemaker und Ouwehand. Die Geschwindigkeit des Atemstromes und das Atemvolumen des Menschen. Arch. f. Anat. u. Phys. 1904.
— Het *R*-Register. Tijdschrift v. Geneesk. 1898.
— Le registre de l'*R*. Arch. néerl. Série II, Tome II.
— Surs les sons dominants des résonants, avec quelques observations sur la voix morte des adénoïdiens. Arch. néerlandaises des Sc. ex. et Nat. Série II, Tome II.
— Die Luftbrücke. Onderz. Phys. Lab. Utrecht **4**, II.
— Über die den Resonanten zukommende Nasalierung. Monatsschr. f. Sprachheilk. 1907, S. 326.

Außerdem zahlreiche Aufsätze in der Monatsschrift für Sprachheilkunde und in Vox, Internationales Zentralblatt für die experimentelle Phonetik.

Namen- und Sachregister.

Berichtigungen während des Druckes.

S. 32, Zeile 12 von unten: lies Atemvolumschreiber statt Atomvolumschreiber.

S. 141, „ 15 „ oben: lies stimmhaftem und stimmlosem statt stimmhaften und stimmlosen.



Schwingungszahlen der Töne der temperierten zwölfstufigen Leiter für $a^1 = 435$ Schwingungen (v. d.) nach C. Stumpf.

	C—H	c—h	c^1—h^1	c^2—h^2	c^3—h^3	c^4—h^4	c^5—h^5	c^6—h^6
C	65	129	259	517	1035	2069	4138	8 277
Cis—Des . .	69	137	274	548	1096	2192	4385	8 769
D	73	145	290	581	1161	2323	4645	9 290
Dis—Es . .	77	154	308	615	1230	2461	4921	9 843
E	81	163	326	652	1304	2607	5214	10 428
F	86	172	345	691	1381	2762	5524	11 048
Fis—Ges .	91	183	366	732	1463	2926	5853	11 705
G	97	194	388	775	1550	3100	6201	12 401
Gis—As . .	103	205	411	821	1642	3285	6569	13 139
A	109	218	435	870	1740	3480	6960	13 920
Ais—B . .	115	230	461	922	1843	3687	7374	14 748
H	122	244	488	977	1953	3906	7812	15 625









